



THESIS : ME 142516

**ANALISIS DAMPAK KEAUSAN SILINDER LINER
TERHADAP GAYA INERSIA MOTOR YANMAR
YSM8-Y**

**BARNABAS WATTIMURY
4110 204 204**

DOSEN PEMBIMBING :

**Dr. Eng. I Made Ariana. ST, MT
Sutopo Purwono Fitri. ST, M.Eng, PhD**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

ANALISIS DAMPAK KEAUSAN SILINDER LINER TERHADAP GAYA INERSIA MOTOR YANMAR YSM8-Y

Oleh : BARNABAS WATTIMURY

NRP : 4110 204 204

Pembimbing: Dr. Eng. I Made Ariana. ST, MT

Sutopo Purwono Fitri. ST, M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Hasil pembakaran udara dan bahan bakar didalam silinder motor akan menekan torak dan merubah gerak translasi menjadi gerak putar melalui rangkaian mekanisme gerak kerja torak, batang penghubung dan lengan engkol. Selama proses kerja dari rangkaian tersebut, akan terjadi keausan permukaan komponen antara komponen bergerak yang satu terhadap lainnya, atau komponen bergerak terhadap komponen diam seperti silinder liner. Pembesaran volume kompresi akibat keausan silinder liner, sangat berpengaruh terhadap gaya inersia dan siklus kerja motor. Gaya inersia diperoleh melalui perkalian percepatan torak terhadap masa yang bergerak translasi sepanjang garis sumbu silinder, sedangkan percepatan torak tergantung dari kecepatan kuadrat sudut engkol hasil dari kecepatan torak akibat tekanan gas pada permukaan torak. Perhitungan analisis dengan metoda Grinevetsky-Mazing untuk batas keausan yang diijinkan ($\text{wear limit} = 0,17 \text{ mm}$), serta volume kompresi setelah pembesaran silinder liner akibat keausan sebesar $0,25 \text{ mm}$, $0,50 \text{ mm}$, $0,75 \text{ mm}$ dan $1,00 \text{ mm}$ melewati batas yang diijinkan (umumnya terjadi dilapangan $\pm 1 \text{ mm}$).

Hasil perhitungan menunjukkan, tekanan maksimum dalam silinder menurun dari sebesar $3,57 \text{ kg/cm}^2$ atau $0,27\%$, daya motor (N_e) menurun sebesar $0,22 \text{ Hp}$ atau $0,12\%$, putaran motor (n), menurun sebesar $101,03 \text{ rpm}$ atau $0,315\%$. Pada perhitungan dinamika engkol, gaya tangensial dan torsi mesin menurun sebesar $0,99\%$ pada 375° putaran engkol, dan gaya yang bekerja pada poros untuk tiap langkah usaha relatif menurun sebesar $0,007\%$ pada 360° dan 375° putaran engkol. Pada tiap besaran keausan, gaya inersia orde 1 (f_1) yang terkait dengan frekuensi putaran poros secara keseluruhan menurun rata-rata sebesar $0,937\%$, sebaliknya gaya inersia orde 2 (f_2) mengalami kenaikan tidak merata pada tiap frekuensi 20° putaran engkol, sedangkan gaya inersia ($F = f_1 + f_2$) tidak mengalami perubahan.

Kata Kunci : Mesin diesel, Siklus kerja motor, Volume kompresi, Gaya inersia.

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPACT ANALYSIS OF WEAR ON THE CYLINDER LINER TO INERTIAL FORCE OF MOTOR YANMAR YSM8-Y

By: BARNABAS WATTIMURY

Student Identity Number : 4110 204 204

Supervisor : Dr. Eng. I Made Ariana. ST, MT

Sutopo Purwono Fitri. ST, M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

Results of air and fuel combustion in the cylinder motor will be pressing the plunger and changed the translational motion into rotary motion through a range of motion of the working mechanism of the piston, connecting rod and crank arm. During the working process of the circuit, the wear surface of the component will occur between moving parts on one another, or moving parts against stationary components like cylinder liner. Compression volume enlargement due to wear of the cylinder liner, very influential on the inertia and the motor work cycle. Inertia force obtained by multiplying the acceleration of the piston against future translational moving along the line of the cylinder axis, while the acceleration of the piston depending on the square of the speed of the crank angle of the piston speed due to the result of the gas pressure on the piston surface. Calculations were analyzed by the method Grinevetsky-Mazing to limit the allowable wear (wear limit = 0.17 mm), and the compression volume after the enlargement of the cylinder liner due to the wear of 0.25 mm, 0.50 mm, 0.75 mm and 1.00 mm past the allowable limit (generally occur in the field ± 1 mm).

Calculation shows, the maximum pressure in the cylinder decreased by 3.57 kg/cm² or 0.27%, motor power (Ne) decreased by 0.22 or a 0.12% Hp, motor rotation (n), a decrease of 101.03 rpm or 0.315%. In the calculation of the dynamics of a crank, tangential force and torque decreased by 0.99% in 3750putaran crank, and the forces acting on the shaft relative to each step of the business decreased by 0.007% in 3600 and 3750 revolutions of the crank. At each scale of wear, inertial forces of order 1 (f1) which is associated with the frequency of shaft rotation as a whole decreased on average by 0.937%, otherwise the inertial forces of order 2 (f2) increased uneven at each frequency of 200 revolutions of the crank, while inertial force ($F = f1 + f2$) unchanged.

Keywords: Diesel engine, motor work cycle, compression volume, inertial force.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**oleh :
BARNABAS WATTIMURY
NRP. 4110 204 204**

**Tanggal Ujian : 08 Juli 2015
Periode Wisuda : September 2015**

Disetujui :

1. **Dr. Eng. I Made Ariana. ST., MT**
NIP. 1971 0610 1995 12 1001

(Pembimbing)



2. **Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D**
NIP. 1975 1006 2002 12 1003

(Pembimbing)



3. **Ir. Aguk Zuhdi. M.F, M.Eng., Ph.D**
NIP. 1956 0519 1986 10 1001

(Penguji)



4. **Dr. Ir. A.A. Masroeri. M.Eng**
NIP. 1958 08 07 1984 03 1001

(Penguji)



5. **Semin Sanuri, ST., MT., Ph.D**
NIP. 1971 01 10 1997 02 1001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 19640405 1990 02 1001



KATA PENGANTAR

Pujian dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas anugerah, penyertaandankasih-setia_Nya kepada penulis sejak awal perkuliahan hingga penyelesaian tesis ini dengan judul :

”Analisis Dampak Keausan Silinder Liner Terhadap Gaya Inersia Motor Yanmar Ysm8-Y”.

Penulisan tesis ini merupakan salah satu persyaratan akademik sebelum mengakhiri rangkaian kegiatanstudistrata 2 program pendidikan Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Tak dapat disangkal pula bahwa penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dorongan, bantuan, motivasi serta urung pendapat berbagai pihak. Untuk itu lewat kesempatan ini ijin penulis mengucapkan terimakasih yang tulus kepada yang terhormat :

1. Bapak DR. I Made Ariana ST,MT dan Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Phd, sebagaipembimbing yang setiap saat dengan tulus dan penuh perhatian, selalu meluangkan waktu membimbing,mengarahkan serta memberikan motifasi dan masukkan yang sangat berharga bagi penulis dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
1. Bapak DR.Eng. Trika Pitana. ST,MSc, selaku dosen wali penulis padaJurusan Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, atas kebijakan, arahan, motivasi dan dukungan moril kepada penulis.
2. Bapak Prof.DR.Ir. Adi Soeprijanto MT, Direktur Pasca SarjanaInstitut Teknologi Sepuluh November Surabaya yang telah memfasilitasi penulis selama menjalankan Program Magister di ITS Surabaya.
3. Seluruh Staf Dosen Tim Pengajar pada Program Magister Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan ITS Surabaya yang tak sempat penulis sebutkan satu persatu,atas sumbangsih ilmu dan pengetahuan serta berbagaipengalamanyang telah diberikan kepada penulis sejak awal perkuliahan hingga selesainya penulisan tesis ini.

4. Bapak Hasan sebagai koordinator akademik yang selalu mengkoordinir seluruh aktifitas dan fasilitas kegiatan akademik serta Ibu Uki, ST, MT, selaku koordinator Pasca Kelautan ITS, atas perhatian dan kebijakan yang telah diberikan kepada penulis dalam memperlancar proses penulisan ini.
5. Bapak Ir. Fredo J. D Nunumete, MT, dan Nn. Ella Nunumete, ST, yang setiap saat tanpa pamrih membantu memberikan masukan dan motivasi yang sangat berharga bagi penulis sejak awal hingga selesainya penulisan tesis ini.
6. Istri tercinta, Ade Wattimury/Siahay, S.Pd dan anak tersayang Jeane Maya Wattimury. S.Si, Apt, atas dukungan moril, materil serta doanya dalam menopang penulis sejak awal perkuliahan hingga saat ini.
7. Kakak-kakak terkasih : jnd. Cos Hehanussa/Wattimury. SH, dr. Leddy Sonya & suami Hermanto/Wattimury, Arif Hemanto, SH, jnd. Eby Tomaso/Wattimury, S.Pd, dan adik-adik terkasih: Ir. Jefry Wattimury. M.Si, Ir. Ellen Wattimury/Manusiwa, Ir. Latu Wattimury. MT, Dra. Dessy Wattimury/Napitupulu, Fien Limaheluw/Wattimury, S.Pd, serta anak-anak tersayang : dr. June Wattimury, Yoan Wattimury, Ariel Proton Wattimury dan lainnya yang tak sempat penulis sebutkan, atas dukungan moril dan materil serta doanya setiap saat bagi penulis sejak awal perkuliahan hingga saat ini.

Akhir kata jadi mata para pembaca dan ilmuwan, mungkin ada hal-hal yang perlu disesuaikan dengan perkembangan teknologi permesinan masa kini maupun kedepan sebagai saran dan input yang mengarah kepada kesempurnaan penulisan tesis ini, penulis terima dengan legah hati, semoga penulisan tesis ini bermanfaat bagi para pembaca dan ilmuwan sekalian.

Surabaya, Medio Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul

Lembaran Pengesahan i

Kata Pengantar iii

Abstrak v

Abstract vii

Daftar Isi ix

Daftar Tabel xiii

Daftar Gambar xv

Bab I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Permasalahan 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian 2

1.5 Produk penelitian 3

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Objek Penelitian 5

2.2 Perhitungan Siklus Aktual Mesin Metoda Grinevetsky-Mazing 6

2.2.1 Perhitungan Parameter Proses Pengisian 6

2.2.2 Perhitungan Parameter Proses Kompresi 7

2.2.3 Perhitungan Parameter Proses Pembakaran 7

2.2.4 Perhitungan Parameter Proses Ekspansi 9

2.2.5 Daya Motor 10

2.2.6 Korelasi Diagram Indikator vs Putaran Engkol 11

2.3 Dinamika Mekanisme Engkol 11

2.3.1 Mekanisme Silinder-Poros Engkol Konsentris (Convensional) 11

2.3.1.1	Lintasan Torak	12
2.3.1.2	Kecepatan Torak	12
2.3.1.3	Percepatan Torak	13
2.3.1.4	Gaya Inersia	13
2.3.1.5	Gaya Pada Batang Penghubung	13
2.4	Perhitungan Kemampuan Momen Pada Poros Engkol Untuk Menggerakkan Torak Pada Langkah Kompresi	15
2.5	Perhitungan Titik Berat Batang Penghubung	15
2.5.1	Kepala Kecil (Small end)	15
2.5.2	Kepala Besar (Big end)	16
2.5.3	Batang Penghubung	18
2.6	Perubahan Daya Motor	19
2.7	Perubahan Putaran Motor	20
Bab III	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Flow Chart	21
3.2	Studi Literatur Pengumpulan Data	22
3.3	Perhitungan termodinamika siklus kerja motor	22
3.4	Perhitungan tekanan didalam silinder terhadap derajat putaran Engkol	22
3.5	Perhitungan dinamika gaya motor	22
3.6	Kemampuan momen poros menggerakkan torak	23
3.7	Perhitungan bagian bagian bergerak dari motor	23
3.8	Grafik gaya inersia terhadap tekanan kompresi	23
3.9	Produk Penulisan	23
Bab IV	PERHITUNGAN DAN ANALISA	
4.1	Perhitungan Siklus kerja mesin (Yanmar YSM8-Y)	25
4.2	Perhitungan Tekanan Didalam Silinder Terhadap Derajat Putaran Engkol	27
4.3	Sketsa Keausan Silinder Liner	28

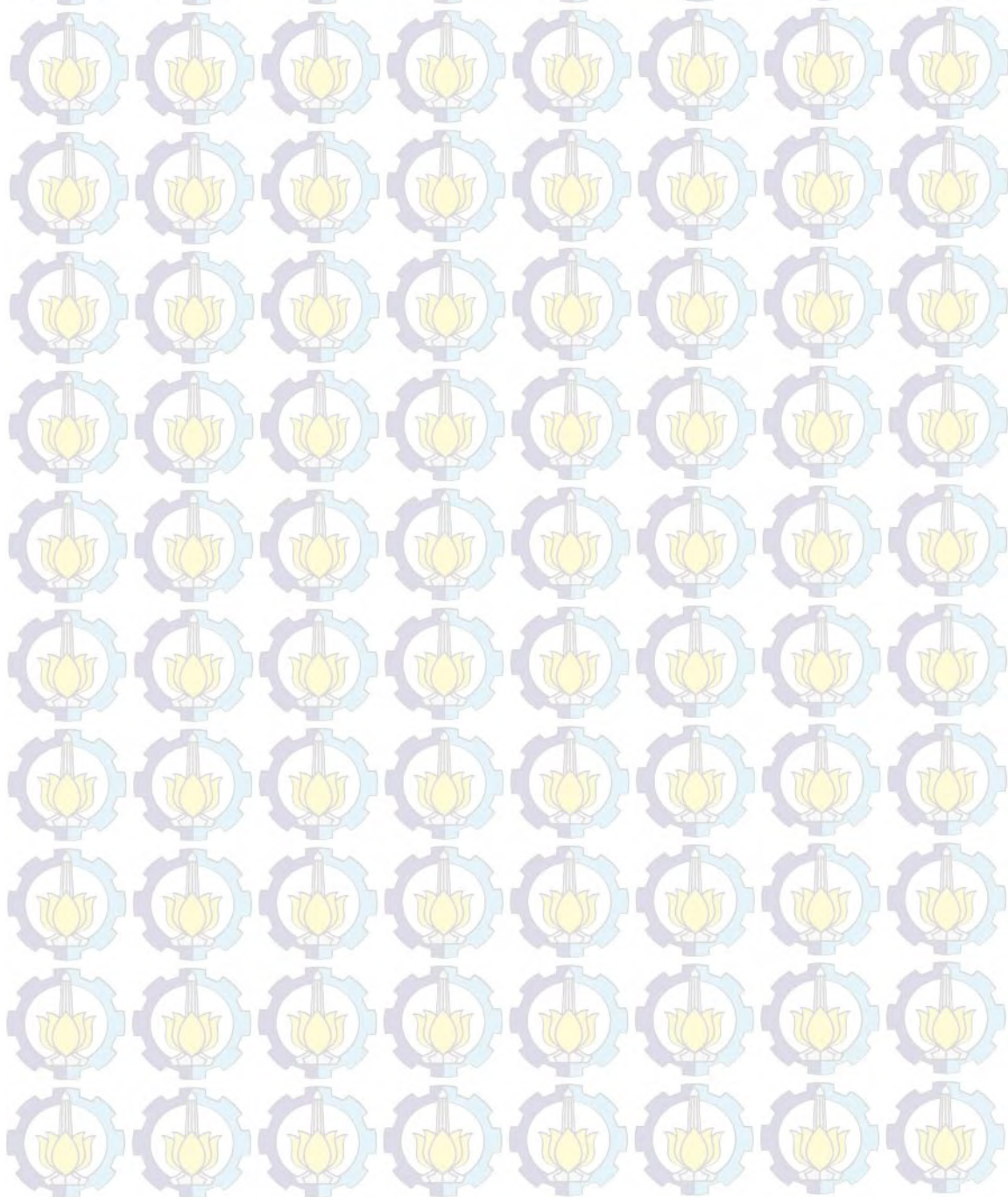
4.4	Perhitungan Kehilangan Tekanan Pada Langkah Kompresi dan Usaha Akibat Blowby	28
4.5	Perhitungan Kehilangan Tekanan Maksimum Dalam Silinder.	31
4.6	Perubahan Tingkat Penurunan Tekanan	32
4.7	Perubahan Daya Motor	32
4.8	Perubahan Putaran Motor	33
4.9	Perhitungan Titik Berat Bagian Bagian Motor Yang Bergerak Translasi Dan Rotasi	33
4.9.1	Kepala Kecil	34
4.9.2	Kepala Besar Bagian Atas	34
4.9.3	Kepala Besar Bagian Bawah	35
4.9.4	Batang Penghubung	36
4.9.5	Titik Berat Batang Penghubung	37
4.10	Perhitungan Dinamika Gaya	38
4.10.1	Lintasan Torak	38
4.10.2	Kecepatan Torak	38
4.10.3	Percepatan Torak	39
4.11	Perhitungan Gaya Total	40
4.12	Perhitungan Gaya Normal	41
4.13	Perhitungan Gaya Pada Batang Penghubung	42
4.14	Perhitungan Gaya Pada Poros	43
4.15	Perhitungan Gaya Tangensial	44
4.16	Perhitungan Torsi Motor	45
4.17	Gaya Inersia	46
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
	DAFTAR PUSTAKA	51
	BIOGRAFI PENULIS	53

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Korelasi tekanan dalam silinder dan sudut engkol	11
Gambar 2.2	Mekanisme silinder-poros engkol	12
Gambar 2.3	Kerja gaya pada silinder-poros	14
Gambar 2.4	Penampang kepala kecil	16
Gambar 2.5	Penampang kepala besar bagian atas	17
Gambar 2.6	Penampang kepala besar bagian bawah	17
Gambar 2.7	Alur Kebocoran Gas Dari Ruang Pembakaran ke Karter Motor – Blowby	19
Gambar 4.1	Diagram Indikatur Pa dan Pb	27
Gambar 4.2	Sketsa keausan silinder liner	28
Gambar 4.3	Grafik persentase kehilangan udara pembakaran pada langkah kompresi	29
Gambar 4.4	Grafik persentase kehilangan gas pembakaran pada langkah usaha	30
Gambar 4.5	Grafik Grafik kehilangan tekanan maksimum dalam silinder	31
Gambar 4.6	Grafik tingkat penurunan tekanan	32
Gambar 4.7	Grafik perobahan tenaga motor	33
Gambar 4.8	Grafik perobahan putaran motor	33
Gambar 4.9	Penampang Penampang kepala kecil bagian atas	34
Gambar 4.10	Penampang kepala besar bagian atas	34
Gambar 4.11	Penampang kepala besar bagian bawah	35
Gambar 4.12	Penampang batang penghubung	36
Gambar 4.13	Grafik lintasan torak	38
Gambar 4.14	Grafik kecepatan torak	39
Gambar 4.15	Grafik lintasan torak	40

Gambar 4.16	Grafik gaya total pada pen torak	41
Gambar 4.17	Grafik gaya normal pada dinding silinder	42
Gambar 4.18	Grafik gaya pada batang penghubung	43
Gambar 4.19	Grafik gaya pada poros	44
Gambar 4.20	Grafik gaya tangensial	45
Gambar 4.21	Grafik torsi motor	46
Gambar 4.22	Grafik gaya inersia	47



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tekanan Kompresi dan Ekspansi	27
Tabel 4.2	Data keausan silinder liner yang diteliti	28
Tabel 4.3	Persentase kehilangan udara pembakaran pada langkah kompresi dan usaha akibat keausan silinder liner dan blowby	29
Tabel 4.4	Persentase kehilangan gas pembakaran pada langkah usaha dan usaha akibat silinder liner dan blowby	30
Tabel 4.5	Penurunan tekanan maksimum dalam silinder	31
Tabel 4.6	Korelasi keausan dan tingkat penurunan tekanantekanan	32
Tabel 4.7	Korelasi keausan dengan penurunan tenaga motor	33
Tabel 4.8	Korelasi keausan dan tingkat penurunan putaran motor	33
Tabel 4.9	Titik berat bidang 1 dan 2 terhadap x2-x2	35
Tabel 4.10	Titik berat bidang 1,2,dan 3 serta 4 terhadap X1-X1	35
Tabel 4.11	Titik berat bidang 1 dan 2 terhadap x2-x2	36
Tabel 4.12	Titik berat bidang 1,2 dan 2 serta 4 terhadap x1-x1	36
Tabel 4.13	Titik berat penampang 1 dan 2 terhadap x-x	37
Tabel 4.14	Korelasi putaran engkol dan lintasan torak	38
Tabel 4.15	Kecepatan torak	39
Tabel 4.16	Perecepatan torak	40
Tabel 4.17	Gaya total pada pen torak	41
Tabel 4.18	Gaya normal pada dinding silinder	42
Tabel 4.19	Gaya pada batang penghubung	43
Tabel 4.20	Gaya pada poros	44
Tabel 4.21	Gaya Tangensial	47
Tabel 4.22	Torsi motor	46
Table 4.23	Gaya Inersia	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sangat luas penggunaannya karena efisiensinya yang tinggi, pembangkit ketenagaan yang terkonsentrasi serta teruji keandalannya. Proses kerjanya adalah merubah gerak translasi hasil pembakaran udara bahan bakar didalam silinder pada torak menjadi gerak putar pada poros engkol, melalui rangkaian mekanisme gerak kerja torak, batang penghubung dan lengan engkol. Selama proses kerja dari rangkaian mekanisme dimaksud, akan terjadi keausan permukaan komponen sampai pada batas keausan yang diijinkan, antara komponen yang saling bergerak satu terhadap lainnya, maupun antara komponen bergerak terhadap komponen yang diam. Pada motor empat langkah, dari tiap siklus kerja motornya terdapat satu langkah yang memberi usaha dan tiga langkah yang tidak memberi usaha. Sehingga untuk mempertahankan motor tetap bekerja melewati langkah-langkah yang tidak memberi usaha sangat diperlukan adanya gaya inersia. Pada motor dengan torak yang bekerja bolak balik, efek inersianya muncul berasal dari gerak engkol dan bagian bagian bergerakanya. Komponen gaya inersia pada motor memiliki dampak positif dan negatif. Pada satu sisi efek gaya ini tidak dikhendaki karena mengakibatkan timbulnya beban tambahan dan mengganggu pengembangan daya dari gerak bolak balik torak. Pada sisi lain, gaya ini memberikan daya pada engkol untuk mengimbangi fluktuasi gaya dari tekanan gas dalam silinder. Gaya inersia ini mendapatkan gaya gerak awal dari tekanan pembakaran maksimum didalam silinder, sesuai volume kompresi motor. Jika terjadi keausan antara cincin torak dan silinder liner sehingga diameter silinder liner menjadi lebih besar sampai pada batas yang ditoleransikan, maka volume kompresipun akan membesar serta terjadinya kebocoron udara bertekanan didalam silinder (*blowby*) yang mengakibatkan tekanan pembakaran maksimum menjadi berkurang dan akan berdampak pada berkurangnya gaya inersia pada motor.

1.2. Masalah

Motor pada saat mulai dioperasikan terutama motor bersilinder tunggal, maka gaya inersia ini sangat berperan untuk membantu gerak translasi torak melewati langkah pengisian udara kedalam silinder, langkah kompresi dan langkah pembuangan gas bekas dari dalam silinder. Gaya inersia ini diperoleh melalui perkalian kecepatan sudut engkol, jari jari engkol terhadap masa yang bergerak translasi sepanjang garis sumbu silinder akibat tekanan gas pada permukaan torak. Jika terjadi pembesaran volume kompresi yang diakibatkan oleh keausan silinder liner, maka akan sangat berpengaruh terhadap besar gaya pada permukaan torak serta gaya inersia motor. Dalam penelitian ini akan dianalisis kecenderungan perubahan gaya inersia akibat perubahan volume kompresi terhadap siklus kerja motor.

1.3. Batasan Masalah

Analisis perubahan gaya inersia motor ini meliputi pembahasan kebocoron udara bertekanan didalam silinder pada langkah kompresi dan langkah usaha, yang didasarkan pada kondisi volume kompresi setelah silinder liner mengalami keausan pada batas yang diijinkan (*wear limit* = 0,17 mm), serta volume kompresi setelah silinder liner mengalami pembesaran keausan 0.25 mm, 0.50 mm, 0.75 mm dan 1.00 mm melewati batas yang diijinkan (umumnya dipraktikkan dilapangan ± 1 mm).

1.4. Tujuan Dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan

- a. Mengetahui tingkat perubahan tekanan maksimum dalam silinder, tenaga motor (N_e) dan putaran motor (n) akibat keausan silinder liner.
- b. Mengetahui kecendrungan gaya tangensial dan torsi motor pada dinamika derajat putaran engkol akibat keausan silinder liner.
- c. Menganalisis kecenderungan perubahan gaya inersia motor akibat pembesaran volume kompresi yang disebabkan oleh keausan silinder liner motor.

2. Manfaat

a. Kepada masyarakat ilmuwan :

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi yang cukup untuk dapat dikembangkannya cara mempertahankan gaya inersia motor walaupun terjadi pembesaran volume kompresi.

b. Pengguna motor.

Melakukan pengawasan terhadap system pelumasan dan pendinginan motor guna memperpanjang waktu pengoperasian motor sampai pembesaran silinder liner mencapai batas yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat motornya.

1.5. Produk Penelitian

Produk penelitian ini akan disampaikan sebagai format Laporan Tugas Akhir (Tesis) Program Pasca Sarjana ITS Jurusan Teknik Sistem Pengendalian Dan Teknologi Kelautan, serta Publikasi Ilmiah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Objek penelitian

Sebagai objek penelitian, digunakan motor marine diesel 4 langkah milik laboratorium getaran dan kebisingan ITS, dengan spesifikasi :

- Merek : Yanmar
- Model : YSM8-Y
- Tipe : Horizontal, water cooled, precombustion chamber
- Jumlah silinder : 1
- Diameter x panjang langkah : 75 x 75 mm
- Displacement : 0,331 liter
- Daya : 7 HP
- Putaran : 3200
- Kecepatan torak : 8 m/s
- Perbandingan kompresi : 23 : 1
- Berat torak : 370 gr
- Berat pen torak : 140 gr
- Berat cincin kompresi : 35 gr (3x11,67 gr)
- Berat cincin pelumas : 15 gr
- Berat ring pengaman pen torak : 4 gr (2x2 gr)
- Berat batang penghubung : 505 gr
- Jarak titik berat batang Penghubung ke pen engkol : 4 cm
- Berat batang penghubung Yang bergerak translasi : 155,385 gr
- Berat batang penghubung Yang bergerak rotasi : 349,615 gr
- Kecepatan sudut : 334,933 rad/detik

- Massa mesin : 92 kg

2.2. Perhitungan Siklus Aktual Mesin Metoda Grinevetsky-Mazing

2.2.1. Perhitungan Parameter Proses Pengisian

1. Tekanan udara pada awal kompresi

Untuk motor 4 langkah tanpa menggunakan supercharger

$$P_a = (0.85 \div 0.92), \text{ kg/cm}^2$$

dengan :

$$P_a = \text{Tekanan awal kompresi, kg/cm}^2$$

$$P_o = \text{Tekanan udara luar, kg/cm}^2$$

2. Temperatur pada awal langkah kompresi

$$T_a = \frac{T_o + \Delta tw \cdot \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}, \text{ } ^\circ\text{K}$$

dengan :

$$T_o = \text{Temperatur udara luar, } ^\circ\text{k}$$

$$\Delta tw = \text{Pertambahan temperatur percampuran udara bahan bakar, } ^\circ\text{C}$$

$$T_r = 700 - 800 \text{ } ^\circ\text{K, adalah temperatur sisa gas pembakaran sebelum bercampur dengan udara yang masuk ke dalam silinder untuk mesin diesel.}$$

$$\gamma_r = (0.03 \div 0.04) = \text{Koefisien gas residu mesin 4 langkah}$$

3. Efisiensi pengisian (η_{ch})

$$\eta_{ch} = \frac{\varepsilon \cdot P_a \cdot T_o}{(\varepsilon - 1) \cdot P_o \cdot T_a \cdot (1 + \gamma_r)}$$

dengan :

$$\varepsilon = \text{Perbandingan kompresi}$$

$$P_o = \text{Tekanan udara luar, kg/cm}^2$$

$$P_a = \text{Tekanan awal kompresi, kg/cm}^2$$

$$T_a = \text{Temperatur awal kompresi, } ^\circ\text{K}$$

$$\gamma_r = \text{Koefisien gas-gas residu}$$

T_o = Temperatur kamar mesin, °K

2.2.2. Perhitungan Parameter Proses Kompresi

1. Pangkat Politropis (n_1)

$$A + B \cdot T_a (\epsilon^{n_1-1} + 1) = \frac{1.985}{n_1 - 1}$$

dengan :

A dan B = Adalah koefisien-koefisien yang diperoleh dari eksperimen

n_1 = (1,4 ÷ 1,6) yaitu Eksponen politropik kompresi untuk mesin tanpa turbocharging.

ϵ = Perbandingan kompresi

Untuk memperoleh harga n_1 maka nilai ruas kanan dan kiri dari persamaan diatas harus sama.

2. Tekanan udara pada akhir langkah kompresi (P_c)

Tekanan udara pada akhir langkah kompresi dapat dihitung menurut persamaan garis lengkung politropis, yaitu :

$$P_c = P_a \cdot \epsilon^{n_1}, \text{ (kg/cm}^2 \text{)}$$

dengan :

P_a = Tekanan awal kompresi, kg/cm²

3. Temperatur pada akhir langkah kompresi (T_c)

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{n-1}, \text{ °k}$$

dengan :

T_a = Temperatur awal kompresi, kg/cm²

2.2.3. Perhitungan Parameter Proses Pembakaran

1. Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair adalah :

$$L_o^1 = \frac{1}{0,21} \left[\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right], \text{ mol / kg bahan bakar}$$

dengan :

C = kandungan Carbon dalam bahan bakar

H = kandungan Hidrogen dalam bahan bakar

O = kandungan Oksigen dalam bahan bakar

2. Banyaknya udara teoritis dalam satuan berat adalah :

$$L_o = 28.95 \cdot L_o^1$$

3. Jumlah udara sebenarnya yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair yaitu :

$$L^1 = \alpha \cdot L_o^1 ; \text{ mol/kg bahan bakar}$$

dengan :

α = koefisien udara lebih

4. Jumlah unsur-unsur hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar adalah :

- Carbondioksida (CO_2)

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}, \text{ mol}$$

- Uap air (H_2O)

$$M_{H_2} = \frac{H}{2}, \text{ mol}$$

- Nitrogen yang terdapat dalam udara (N_2)

$$M_{N_2} = 0.79 \cdot \alpha \cdot L_o^1, \text{ mol}$$

- Oksigen

$$M_{O_2} = 0.21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_o^1, \text{ mol}$$

Jadi jumlah gas-gas hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

$$M_g = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} + M_{O_2}$$

5. Temperatur pembakaran maksimum

$$\frac{\xi_z \cdot H_z}{\alpha \cdot L_o \cdot (1 + \gamma_r)} + [(MCV)_a + (1.985 \cdot \lambda)] \cdot T_c = \mu \cdot (Mcp)_g \cdot T_z$$

dengan :

ξ_z = Koefisien keuntungan kalor sepanjang segmen garis pembakaran

Untuk memperoleh harga T_z maka digunakan persamaan kuadrat :

$$T_z = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

2.2.4. Perhitungan Parameter Proses Ekspansi

1. Derajat ekspansi pendahuluan (ρ)

$$\rho = \frac{\mu \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c}$$

2. Derajat ekspansi lanjutan (δ)

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}$$

3. Pangkat politropik (n_2)

$$A_g + B_g \cdot T_z \left[1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right] \frac{1.985}{n_2 - 1}$$

dengan :

A_g dan B_g = panas jenis gas-gas hasil pembakaran.

$n_2 = 1,15 - 1,30$

Untuk memperoleh n_2 maka nilai ruas kanan dan kiri dari persamaan diatas harus sama.

4. Tekanan Akhir Ekspansi (P_b)

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}, \text{ kg/cm}^2$$

4. Temperatur Akhir Ekspansi (T_b)

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2 - 1}}, \text{ } ^\circ\text{K}$$

5. Tekanan Rata-Rata Indikator Teoritis (P_{it})

$$P_{it} = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]$$

dengan :

P_c = Tekanan gas akhir kompresi

ε = Perbandingan kompresi

λ = Tingkat kenaikan tekanan

δ = Derajat ekspansi lanjutan

ρ = Derajat ekspansi pendahuluan

n_1 = Eksponen politropik kompresi

n_2 = Eksponen politropik ekspansi

6. Tekanan Indikator Sebenarnya (P_i)

$$P_i = \varphi \cdot P_{it}$$

dengan :

φ = Faktor koreksi dari diagram aliran indikator untuk motor 4 langkah

7. Efisiensi mekanis (η_m)

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

2.2.5. Daya Motor

Daya mesin yang dapat dihasilkan pada poros engkol mesin dapat dihitung dengan rumus :

$$N_e = \frac{\pi D^2 S n a P_e}{z 60 75 100}, \text{ HP}$$

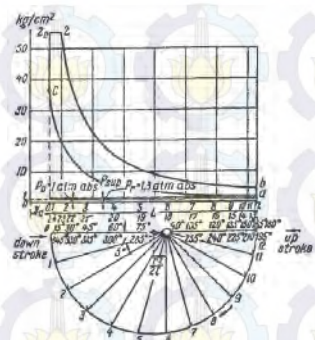
dengan :

D - diameter silinder, cm

S - panjang langkah torak, cm

- n - putaran mesin, rpm
- a - jumlah silinder
- Pe - tekanan efektif, kg/cm²
- z - koefisien tak untuk mesin 4 langkah = 2

2.2.6. Korelasi Diagram Indikator vs Putaran Engkol



Dari korelasi diagram indikator vs putaran engkol ini, akan dibuat tabel tekanan ekspansi dan kompresi per derajat 15° putaran engkol, yang akan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan modifikasi posisi sumbu silinder-poro engkol.

Gambar 2.1. Korelasi tekanan dalam silinder dan sudut engkol

2.3. Dinamika Mekanisme Engkol

2.3.1. Mekanisme Silinder-Poros Engkol Konsentris (Conventional)

Pada mesin pembakaran dalam digunakan mekanisme slider - engkol konsentris yang berfungsi untuk mengubah gerak translasi torak menjadi gerak putar engkol. Efek gerak mekanisme slider - engkol diperoleh melalui tekanan gas yang dihasilkan dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder. Gaya yang dihasilkan oleh tekanan pembakaran ini menyebabkan torak bergerak sepanjang sumbu vertikal dan selanjutnya gaya ini ditransmisikan menjadi gerak putar pada poros engkol melalui batang penghubung dan lengan engkol, seperti ditunjukkan pada Gambar. 1. Dalam mempertimbangkan analisis kinematik dari mekanisme slider - engkol, adalah diperlukan untuk menentukan lintasan torak, kecepatan dan percepatannya.



Keterangan gambar :

- S_{pi} - jarak torak dan sumbu poros engkol
- O - poros engkol
- A - pen engkol
- B - torak
- l - batang penggerak
- r - jari-jari engkol
- θ - posisi sudut engkol
- β - posisi sudut batang penggerak
- TDC - titik mati atas
- BDC - titik mati bawah

Gambar 2.2. Mekanisme silinder-poros engkol

2.3.1.1. Lintasan Torak

Lintasan torak (S_{pi}) adalah perubahan jarak antara torak dan poros engkol, yang dapat didefinisikan sebagai fungsi dari posisi sudut engkol dengan formulasi sebagai berikut :

$$S_{pi} = l + r \left[\cos \theta - \frac{1}{2} \lambda \sin^2 \theta \right], \text{ cm}$$

dengan :

r - jari-jari engkol, cm

l - panjang batang penggerak, cm

λ - perbandingan $\frac{r}{l}$

θ - sudut yang dibentuk antara lengan engkol dan sumbu silinder

2.3.1.2. Kecepatan Torak

Jika lintasan torak diturunkan dalam waktu dengan asumsi bahwa kecepatan sudut konstan, maka kecepatan torak (V_{pi}) dapat diformulasikan sebagai :

$$V_{pi} = -r \omega \left[\sin \theta + \frac{1}{2} \lambda \sin 2\theta \right], \text{ cm/detik}$$

dengan :

ω - kecepatan sudut engkol = $\frac{\pi \cdot n}{30}$, rad/detik

λ - perbandingan panjang batang penggerak dan jari-jari engkol

2.3.1.3. Percepatan Torak

Percepatan torak (a_{pi}), untuk tiap derajat putaran engkol dapat dihitung dari turunan persamaan kecepatan torak, dengan rumus :

$$a_{pi} = -r\omega^2 [\cos \theta + \lambda \cos 2\theta], \text{ cm/detik}^2$$

dengan : ω - kecepatan sudut engkol, rad/detik

r - jari-jari engkol, cm

2.3.1.4. Gaya Inersia

Gaya inersia (F_i) dari masa yang bergerak sepanjang sumbu silinder sepanjang satu siklus kerja mesin adalah :

$$F_i = \frac{W_p}{g} r \omega^2 \cos \varphi + \frac{W_p}{g} r \omega^2 \lambda \cos 2\varphi$$

dengan :

W_p - berat bagian-bagian yang bergerak translasi, yang terdiri dari berat torak, pen torak dan bagian dari batang penggerak

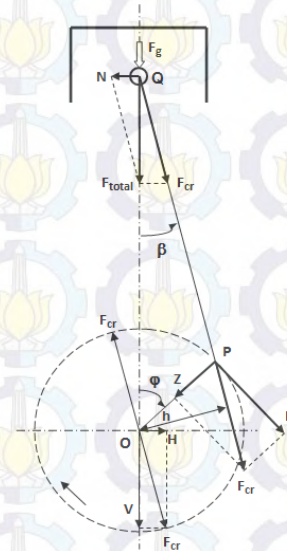
g - gravitasi

r - jari-jari engkol

ω - kecepatan sudut

λ - r/L = jari jari engkol per panjang batang penghubung

2.3.1.5. Gaya Pada Batang Penghubung.



Keterangan gambar :

- F_g - tekanan gas
- Q - pen torak
- N - gaya normal
- F_{cr} - gaya pada batang penggerak
- F_{total} - gaya total
- P - pen engkol
- O - sumbu engkol
- F_t - gaya tangensial
- Z - gaya radial
- ϕ - posisi sudut engkol
- β - posisi sudut batang penggerak

Gambar 2.3. Kerja gaya pada silinder-poros

2.3.1.5.1. Gaya Total

Untuk merubah energi panas yang terjadi sebagai hasil pembakaran udara dan bahan bakar didalam silinder menjadi energi mekanis pada poros engkol, maka tekanan gas pembakaran tersebut diterapkan pada pen torak, dimana total gaya (F_{total}) yang bekerja pada pen torak adalah :

$$F_{total} = F_{gas} \pm F_i + W_p$$

dengan :

F_{gas} - tekanan gas pada permukaan torak

W_p - berat bagian-bagian yang bergerak translasi, yang terdiri dari berat torak, pen torak dan bagian dari batang penggerak

F_i - gaya inersia dari masa yang bergerak sepanjang sumbu silinder

2.3.1.5.2. Gaya Bekerja Pada Dinding silinder

Besar gaya yang bekerja pada dinding silinder (N) adalah :

$$N = F_{total} \cdot \tan \beta$$

dengan :

β - sudut antara sumbu torak dan batang penggerak

2.3.1.5.3. Gaya Yang Bekerja Sepanjang Batang Penggerak

Gaya total yang terwakili dan bekerja sepanjang batang penggerak (F_{cr}) adalah :

$$F_{cr} = \frac{F_{total}}{\cos \beta}$$

2.2.1.5.4. Gaya Radial

Gaya radial (Z) yang terurai dari gaya F_{cr} dan bekerja ke arah poros engkol adalah :

$$Z = F_{cr} \cos (\varphi + \beta)$$

β - sudut antara sumbu torak dan batang penggerak

φ - sudut antara sumbu vertikal poros engkol dan lengan engkol

2.3.1.5.5. Gaya Tangensial

Gaya tangensial yang terurai dari gaya F_{cr} yang bekerja sepanjang lingkaran engkol adalah :

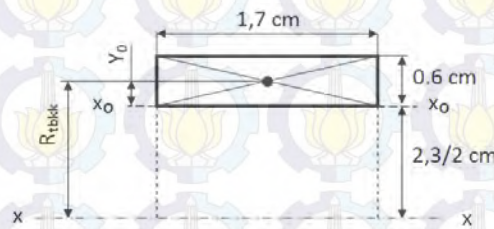
$$F_t = F_{cr} \sin (\varphi + \beta)$$

2.4. Perhitungan Kemampuan Momen Pada Poros Engkol Untuk Menggerakkan Torak Pada Langkah Kompresi

Kajian ini melibatkan korelasi tekanan kompresi pada diagram indikatur terhadap derajat putaran engkol dan besar momen pada poros engkol yang telah dihitung sebelumnya.

2.5. Perhitungan Titik Berat Batang Penghubung

2.5.1. Kepala Kecil (Small end)



Gambar 2.4. Penampang kepala kecil

- Penampang kepala kecil terdiri dari satu bagian, dengan luas $F = l \cdot b$, cm²

- Titik berat kepala kecil terhadap sumbu Xo-Xo adalah

$$Y_0 = \frac{F \cdot S}{F}, \text{ cm}$$

- Radius titik berat kepala kecil

$$R_{tbkk} = \frac{D_2}{2} + Y_0, \text{ cm}$$

dengan : $D_2 = 23 \text{ cm}$

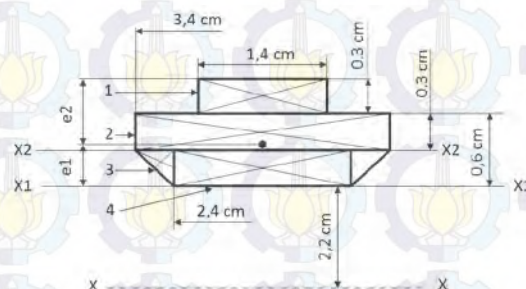
- Berat seluruh kepala kecil

$$B_{kk} = 2\pi \cdot R_{tbkk} \cdot F \cdot \gamma, \text{ kg}$$

Dengan : γ = berat jenis material, 0,00785 kg/cm²

2.5.2. Kepala Besar (Big end)

- Kepala besar bagian atas



Gambar 2.5. Penampang kepala besar bagian atas

Titik berat bidang terhadap sumbu x :

$$\bar{x} \cdot \Sigma F = \Sigma \bar{x} \cdot F \Leftrightarrow \bar{x} = \frac{\Sigma x \cdot F}{\Sigma F}, \text{ cm}$$

Titik berat bidang terhadap sumbu y :

$$\bar{y} \cdot \Sigma F = \Sigma \bar{y} \cdot F \Leftrightarrow \bar{y} = \frac{\Sigma y \cdot F}{\Sigma F}, \text{ cm}$$

Luas penampang :

$$F = \Sigma F, \text{ cm}$$

Radius titik berat terhadap sumbu x-x :

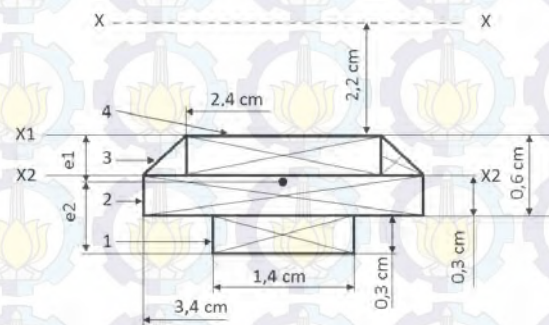
$$R_{tbkb} = \frac{d_i}{2} + y_o, \text{ cm} \quad \text{dengan: } d_i - \text{diameter kepala besar} = 44 \text{ cm}$$

y_o – titik berat bidang terhadap sumbu x-x

Berat kepala besar bagian atas :

$$B_{kb-a} = \pi \cdot R_{tbkb} \cdot F \cdot \gamma, \text{ kg}$$

- Kepala besar bagian bawah



Gambar 2.6. Penampang kepala besar bagian bawah

Titik berat bidang terhadap sumbu x :

$$\bar{x} \cdot \Sigma F = \Sigma \bar{x} \cdot F \Leftrightarrow \bar{x} = \frac{\Sigma x \cdot F}{\Sigma F}, \text{ cm}$$

Titik berat bidang terhadap sumbu y :

$$\bar{y} \cdot \Sigma F = \Sigma \bar{y} \cdot F \Leftrightarrow \bar{y} = \frac{\Sigma y \cdot F}{\Sigma F}, \text{ cm}$$

Luas penampang :

$$F = \Sigma F, \text{ cm}$$

Radius titik berat terhadap sumbu x-x :

$$R_{tbkb} = \frac{d_i}{2} + y_o, \text{ cm} \quad \text{dengan : } d_i - \text{diameter kepala besar} = 44 \text{ cm}$$

y_o – titik berat bidang terhadap sumbu x-x

Berat kepala besar bagian atas :

$$B_{kb-b} = \pi \cdot R_{tbkb} \cdot F \cdot \gamma, \text{ kg}$$

2.5.3. Batang Penghubung

Panjang batang penghubung :

$$L_{cr} = L - (r_1 + r_2), \text{ cm} \quad \text{dengan : } L - \text{panjang batang penggerak, cm}$$

r_1 - radius terluar kepala kecil,
cm
 r_2 - radius terluar kepala besar,
cm

Berat batang penghubung :

$$B_{cr} = L_{cr} \cdot F \cdot \gamma, \text{ kg}$$

Berat total batang penghubung :

$$B_{crs} = B_{kk} + B_{cr} + B_{kb-a} + R_{tbkb}, \text{ kg}$$

Titik berat batang penghubung dari sumbu x-x :

$$Y_o = \frac{B_{kk} \cdot y_1 + B_{cr} \cdot y_2 + B_{kba} \cdot y_3 + B_{kbb} \cdot y_4}{B_{kk} + B_{cr} + B_{kba} + B_{kbb}}, \text{ cm}$$

Berat batang penghubung yang bergerak translasi :

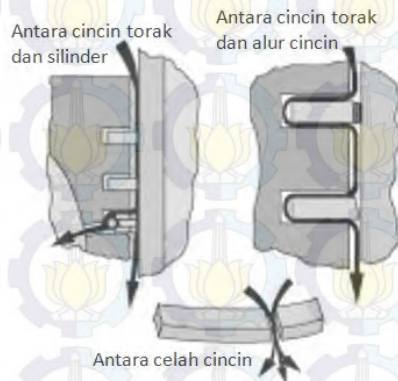
$$W_{bpt} = \frac{y_o}{L} \cdot B_{cr}, \text{ kg}$$

Berat batang penghubung yang bergerak rotasi :

$$W_{bpr} = B_{crs} - W_{bpt}, \text{ kg}$$

Blowby

Blowby adalah masa gas pada langkah usaha maupun masa udara pada langkah kompresi yang lolos dari ruang pembakaran mengalir masuk ke kotak engkol, melalui celah antara torak, cincin torak dan silinder liner.



Gambar 2.7. Alur Kebocoran Gas Dari Ruang Pembakaran ke Karter Motor - Blowby

Masa gas dan masa udara yang lolos dari ruang pembakaran ini dapat dihitung dengan formula :

$$\dot{m}_{bb} = (1 + K_m \cdot e^{-K_n \cdot n_{min}}) \cdot C_d \cdot A \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}$$

dengan : C_d – koefisien drag = 0.465 (hollow cylinder)

K_m – konstanta = 0.78

K_n – konstanta = 0.048

N_{min} – putaran minimum

A – luas keausan dari sisi permukaan torak, m^2

ΔP – beda tekanan di dalam silinder dan ruang engkol, kg/cm^2

ρ – berat masa gas dan udara

2.6. Perubahan Daya Motor

Perubahan daya motor (N_e) dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan perhitungan Tekanan Indikator Teoritis (P_{it}) untuk mendapatkan tekanan efektif (P_e) dan rumus perhitunhan daya motor (N_e),

$$P_{it} = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \left(\frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \left(\frac{1}{n_1 - 1} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], kg/cm^2$$

$$Ne = \frac{\pi/4 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot P_e \cdot i}{9000}, HP$$

dengan :

Pc – Tekanan kompresi

ε – Perbandingan kompresi

λ – tingkat kenaikan tekanan didalam silinder

ρ – derajat pengembangan awal

δ – derajat pengmebangan susulan

n1 – eksponen politropik kompresi

n2 – eksponen politropik ekspansi

D – diameter silinder

S – Panjang langkah torak

n – putaran motor

Pe – tekanan efektif

i – jumlah silinder

2.7. Perubahan Putaran Motor

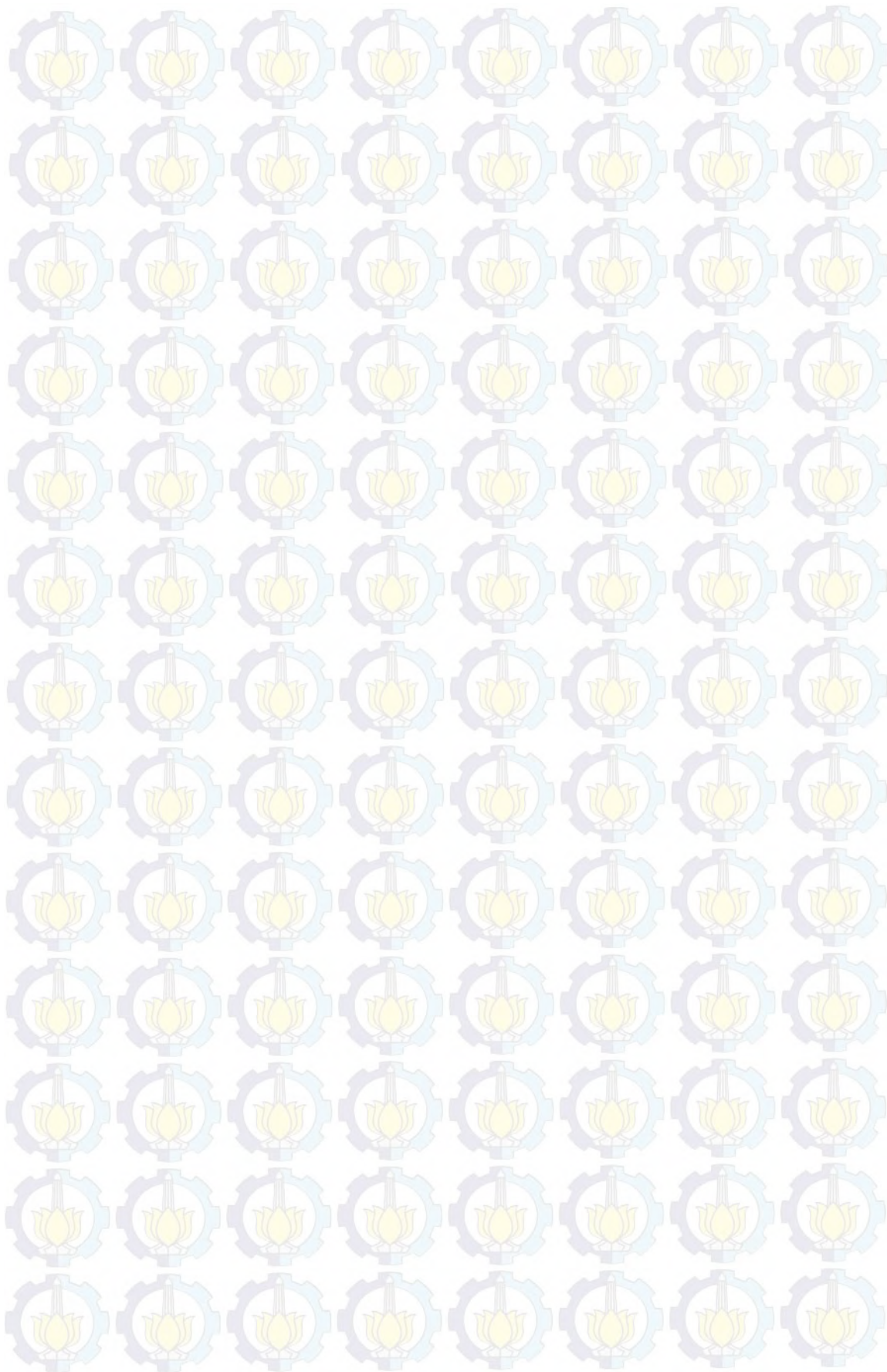
Berobahnya tekanan maksimum dalam silinder (Pz) dan daya motor (Ne) karena terjadinya keausan pada silinder liner yang mengakibatkan blowby, dalam waktu relapif panjang akan mempengaruhi menurunnya putaran motor, dan dapat dihitung dengan rumus torsi motor :

$$T = 71620 \cdot \frac{Ne}{n}, \quad kg.m$$

dengan:

Ne – daya motor, HP

N – putaran motor, rpm

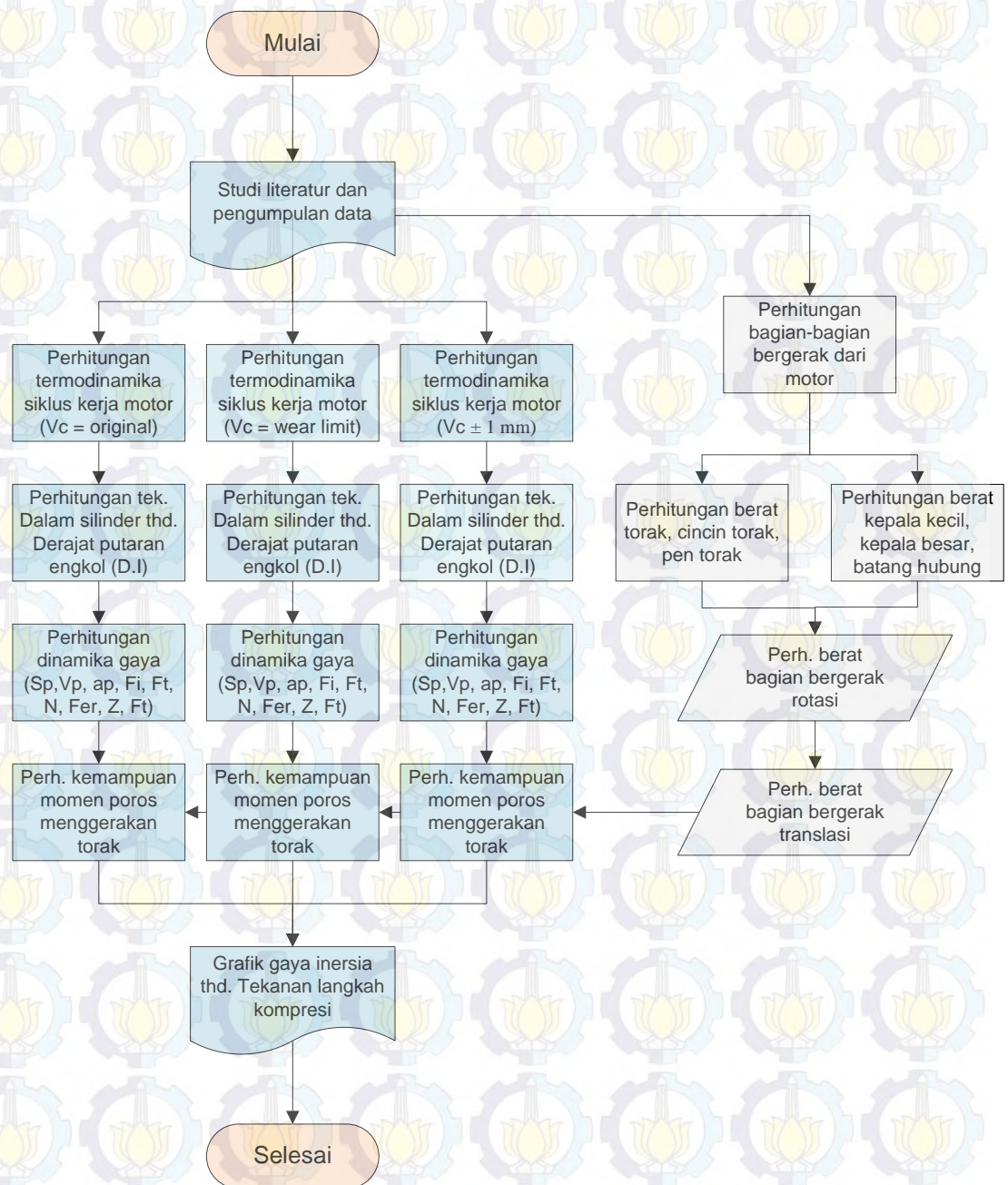


BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan penelitian ini, maka analisis ini disusun dengan format sebagai berikut :

3.1. Flow Chart



3.2. Studi literatur dan pengumpulan data

Studi ini dilakukan untuk mendapatkan materi-materi yang mendukung dicapainya tujuan penelitian yang meliputi, studi pustaka terhadap motor pembakaran dalam, proses keausan motor, mekanisme kerja dan dinamika motor yang melibatkan gaya-gaya yang bekerja sepanjang kerja torak, batang penghubung, lengan engkol dan poros engkol. Kemudian dilakukan pendataan terhadap bagian-bagian bergerak dari motor antara lain torak, cincin torak, pen torak dan batang penghubung.

Dalam penelitian ini akan mengkondisikan volume kompresi dalam porsi original dengan diameter silinder liner $D = 75,00$ mm, silinder liner telah mengalami keausan sampai batas yang direkomendasikan (wear limit) $D = 75,17$ mm, dan silinder liner mengalami keausan (ditoleransikan dalam operasional) $D = 76,17$. sehingga perhitungan termodinamikanya akan dilakukan sesuai perubahan volume kompresi.

3.3. Perhitungan termodinamika siklus kerja motor

Perhitungan ini dimaksudkan untuk mendapatkan besar tekanan dan temperatur pada akhir langkah pengisian, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembuangan didalam silinder dalam satu siklus kerja motor.

3.4. Perhitungan tekanan didalam silinder terhadap derajat putaran engkol

Perhitungan ini diperlukan untuk mendapatkan korelasi perubahan tekanan didalam silinder tiap 15 derajat putaran engkol, sepanjang 720 derajat putaran siklus kerja motor 4 langkah.

3.5. Perhitungan dinamika gaya motor

Setelah mendapatkan perubahan tekanan didalam silinder, maka dilakukan perhitungan dinamika gaya pada motor, untuk mendapatkan lintasan torak (S_{pi}) yaitu perubahan jarak antara torak dan poros engkol, kecepatan torak (V_{pi}), percepatan torak (a_{pi}), gaya inersia (F_i), gaya (F_{total}), gaya yang bekerja pada

dinding silinder (N), gaya sepanjang batang penggerak (F_{cr}), gaya radial (Z), dan gaya tangensial (F_t).

3.6. Kemampuan momen poros menggerakkan torak

Perhitungan ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara perubahan volume kompresi karena keausan terhadap kecenderungan kemampuan momen pada poros engkol untuk menggerakkan torak mengatasi tekanan kompresi.

3.7. Perhitungan bagian bagian bergerak dari motor

Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan berat komponen motor yang bergerak translasi yaitu torak, cincin torak, pen torak dan bagian batang penghubung yang mengalami gerak gerak translasi, yang akan digunakan dalam perhitungan gaya total yang bekerja pada pen engkol.

3.8. Grafik gaya inersia terhadap tekanan kompresi

Dari seluruh hasil perhitungan diatas akan dipetakan grafik perubahan gaya inersia terhadap tekanan kompresi, akibat keausan silinder liner.

3.9. Produk Penulisan

1. Laporan Tugas Akhir (Tesis) Program Pasca Sarjana ITS Jurusan Sistem Pengendalian Dan Teknologi Kelautan
2. Publikasi ilmiah

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 . Perhitungan Siklus kerja mesin (Yanmar YSM8-Y)

Item Perhitungn

Ne = 7	HP	Tenaga mesin
n = 3200	rpm	Putaran mesin
S = 7,5	cm	Panjang langkah torak
D = 7,5	cm	Diameter silinder
a = 1		Jumlah silinder
ε = 23		Perbandingan kompresi

Perhitungan :

Δt_w = 10	$^{\circ}\text{C}$	Kenaikan temperatur tanpa supercharging = 10-20 $^{\circ}\text{C}$
To = 302	$^{\circ}\text{K}$	Temperatur udara luar
Tr = 700	$^{\circ}\text{K}$	Temp sisa gas pembakaran = 700 - 800 $^{\circ}\text{K}$
Po = 1	Kg/cm^2	Tekanan udara luar
γ_r = 0,03		Koefisien residu gas = 0,03 - 0,04
Ql = 10100	kCal/kg	Nilai panas bawah bahan bakar
Pa = 0,88	Kg/cm^2	Tekanan kompresi = 0,85 - 0,92 tanpa supercharge
Ta = 323,301	$^{\circ}\text{K}$	Temp kompresi = 320 - 330 $^{\circ}\text{K}$
η_{ch} = 0,834		Efisiensi pengisian udara = 0,83 - 0,86
A = 4,62		
B = 0,00053		
Konstanta = 1,985		
n_1 = 1,371661993		Eksponen politropik kompresi = 1,3 - 1,7
n_1-1 = 0,371661993		5,340872 5,340874
Pc = 64,910	Kg/cm^2	Tekanan kompresi
Tc = 1036,835	$^{\circ}\text{K}$	Temperatur kompresi

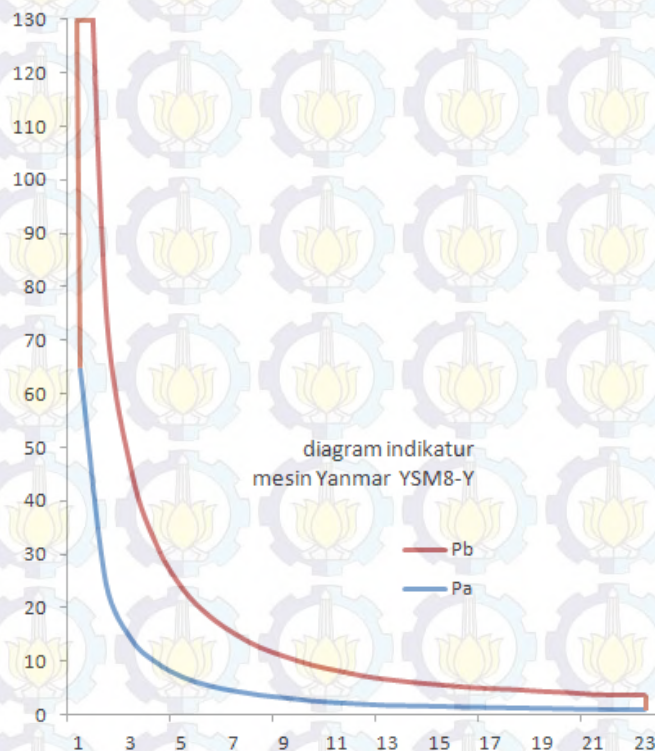
$C = 86\%$		Komposisi kimia bahan bakar
$H = 13\%$		
$O = 1\%$		
$\alpha = 1,5$	Excess air coeffisien = 1,3-1,7 (mesin Diesel kecil put. tinggi)	
$Lo' = 0,4975$	Mole/kg-fuel	Jumlah udara teoritis untuk pembakaran
$L' = 0,7463$	mole/kg-fuel	Jumlah udara aktual
$M_{CO_2} = 0,071666667$	mole	
$M_{H_2O} = 0,065$	mole	
$M_{O_2} = 0,052239583$	mole	
$M_{N_2} = 0,589561012$	mole	
$M_g = 0,778467262$	mole/kg-fuel	
$\mu_o = 1,043130608$		Koefisien kimia perubahan molar
$\mu = 1,041874377$		Koef. kimia perubahan molar dgn gas residu
$v_{CO_2} = 0,092061247$		Kandungan relatip komponen hasil pembakaran :
$v_{H_2O} = 0,08349741$		
$v_{O_2} = 0,067105691$		
$v_{N_2} = 0,757335653$		
$A_g = 5,173499668$		
$B_g = 0,000664042$		
$(mc_p)_g = 7,158499668$	+ 0,00066 Tz, kcal/mole oC	
$(mc_v)_a = 5,169522349$	kcal/mole oC	
$\xi = 0,75$		Koefisien penggunaan panas = 0,65 - 0,85 untuk diesel
$c = 17463,55772$		
$b = 7,458257381$	Tz	
$a = 0,000691848$	Tz ²	
$p = b/a = 10780,19837$		
$q = c/a = 25241903,94$		
$P_z = 129,044$	Kg/cm ²	Tekanan pembakaran maksimum
$T_z = 1978,420$	°K	Temperatur pembakaran maksimum
$\alpha = 1,988$		Tingkat kenaikan tekanan = 1,7-2,2 (atomisasi mekanik)
$\rho = 1$		Derajat pengembangan awal

δ	= 23		Derajat pengembangan susulan
n_2	= 1,28239287		Eksponen politropik ekspansi = 1,15 - 1,30
n_2-1	= 0,28239287		7,029218 7,029214
P_b	= 2,315	Kg/cm ²	Tekanan pada akhir langkah pengembangan
T_b	= 816,162	°K	Temperatur pada akhir langkah pengembangan
P_{it}	= 7,627	Kg/cm ²	Tekanan indikatur
P_i	= 7,322	Kg/cm ²	Koreksi tekanan indikatur
P_e	= 6,004	Kg/cm ²	Tekanan efektif
N_e	= 7,069	HP	Tenaga mesin hasil perhitungan

4.2 .Perhitungan Tekanan Didalam Silinder Terhadap Derajat Putaran Engkol

Tabel 4.1. Tekanan Kompresi dan Ekspansi

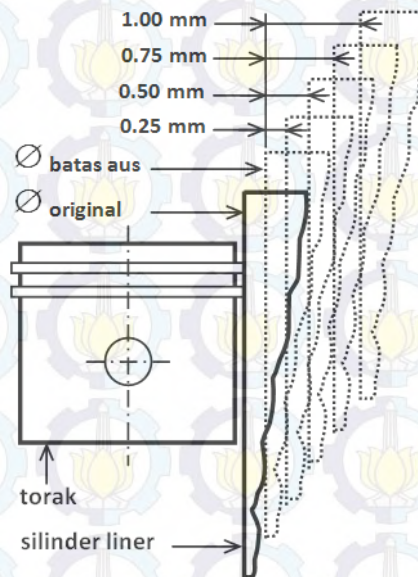
Kompresi	Ekspansi
64,5223	129,0446
24,65521	51,7033
14,1009	31,32109
9,69971	21,7923
7,05045	16,45105
5,5	13,03265
4,48665	10,6825
3,71751	8,84511
3,20475	7,60594
2,64926	6,62315
2,30742	5,89674
2,05104	5,17033
1,79466	4,74303
1,7092	4,273
1,62374	3,93116
1,49555	3,63205
1,41009	3,4184
1,32463	3,33294
1,23917	3,07656
1,15371	2,94837
1,06825	2,69199
0,98279	2,64926
0,98279	2,64926



Gambar 4.1. Diagram Indikatur

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa dengan diameter silinder 7,5 cm dan panjang langkah torak 7,5 cm, serta perbandingan kompresi 23, maka diperoleh tekanan kompresi sebesar 64,5 kg/cm² dan tekanan pembakaran sebesar 129 kg/cm².

4.3 . Sketsa Keausan Silinder Liner



Gambar 4.2. Sketsa keausan silinder liner

Dalam penelitian ini, sketsa keausan dirinci seperti tergambar seperti dengan data datanya tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data keausan silinder liner yang diteliti

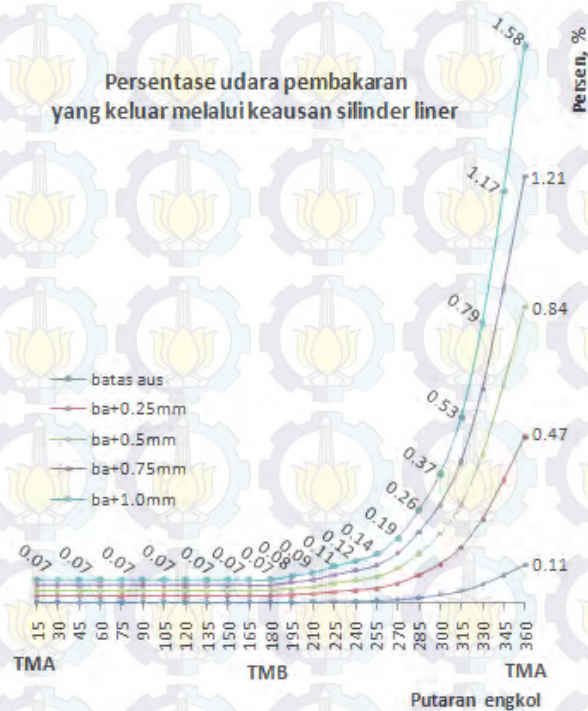
Item	Original	Batas aus	Batas aus + 0.25 mm	Batas aus + 0.50 mm	Batas aus + 0.75 mm	Batas aus + 1.00 mm
Diameter, (m)	0.075	0.07515	0.07565	0.00014	0.07665	0.07715
Luas celah, (m ²)	0	0.000018	0.000077	0.000136	0.000196	0.000257

4.4 . Perhitungan Kehilangan Tekanan Pada Langkah Kompresi dan Usaha Akibat Blowby

Dari data keausan pada Tabel 4.2. diatas, dilakukan perhitungan terhadap persentase lolosnya udara pembakaran pada langkah kompresi dan gas pembakaran pada langkah usaha (blowby) seperti tergambar pada Gambar 4.3. dan Gambar 4.4.

Tabel 4.3. Persentase kehilangan udara Pembakaran pada langkah kompresi dan usaha akibat keausan silinder liner dan blowby

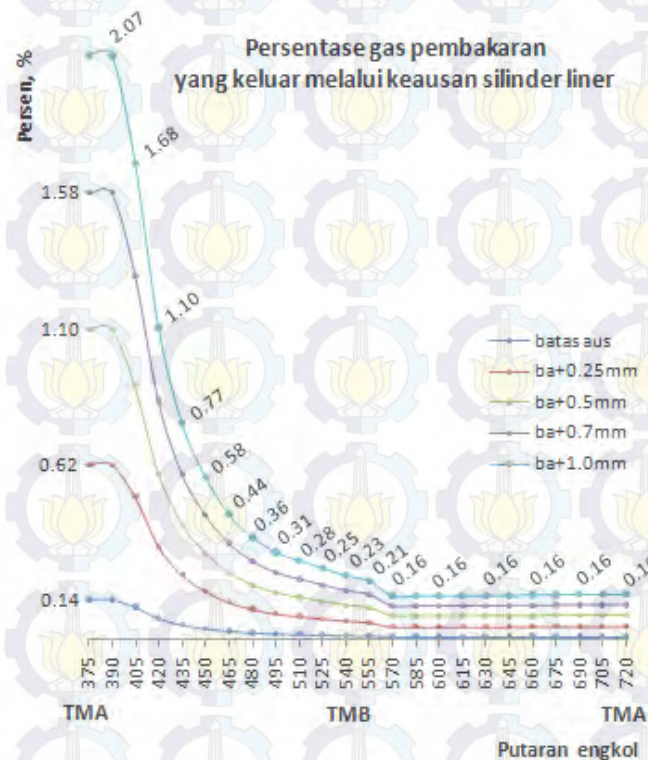
Putaran engkol	Keausan				
	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
15	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
30	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
45	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
60	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
75	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
90	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
105	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
120	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
135	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
150	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
165	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
180	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07
195	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08
210	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09
225	0.01	0.03	0.06	0.08	0.11
240	0.01	0.04	0.06	0.09	0.12
255	0.01	0.04	0.07	0.11	0.14
270	0.01	0.06	0.10	0.14	0.19
285	0.02	0.08	0.14	0.20	0.26
300	0.03	0.11	0.20	0.28	0.37
315	0.04	0.16	0.28	0.40	0.53
330	0.05	0.24	0.42	0.61	0.79
345	0.08	0.35	0.62	0.89	1.17
360	0.11	0.47	0.84	1.21	1.58



Gambar 4.3. Persentase kehilangan udara pembakaran pada langkah kompresi

Tabel 4.4. Persentase kehilangan gas pembakaran pada langkah usaha dan usaha akibat keausan silinder liner dan blowby

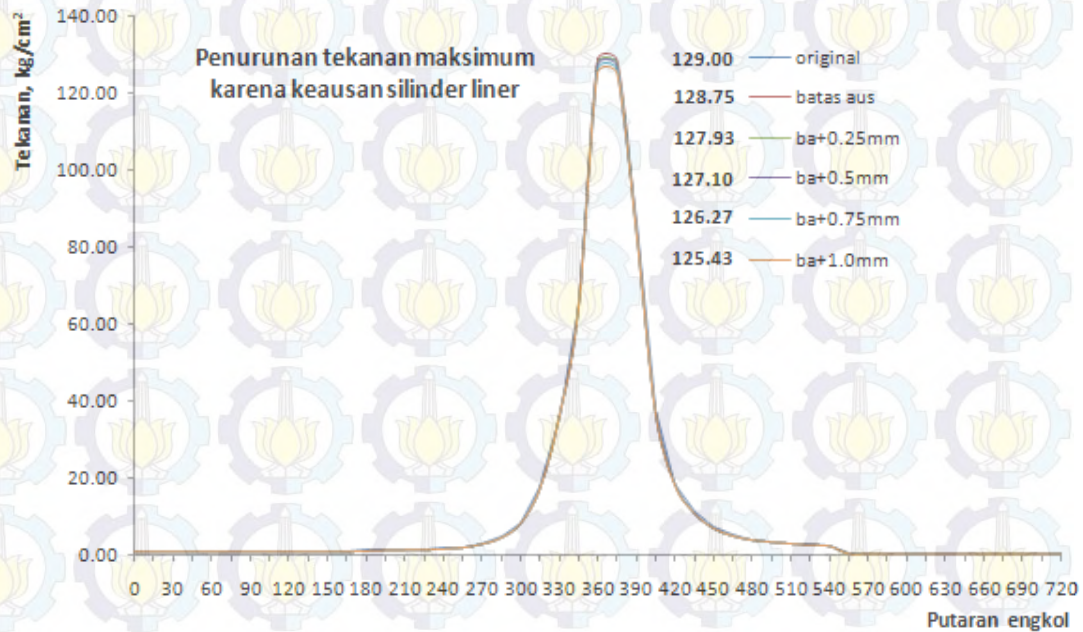
Putaran engkol	Keausan				
	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
375	0.14	0.62	1.10	1.58	2.07
390	0.14	0.62	1.10	1.58	2.07
405	0.12	0.50	0.90	1.29	1.68
420	0.08	0.33	0.59	0.84	1.10
435	0.05	0.23	0.41	0.59	0.77
450	0.04	0.17	0.31	0.44	0.58
465	0.03	0.13	0.24	0.34	0.44
480	0.03	0.11	0.19	0.28	0.36
495	0.02	0.09	0.16	0.24	0.31
510	0.02	0.08	0.15	0.21	0.28
525	0.02	0.08	0.13	0.19	0.25
540	0.02	0.07	0.12	0.17	0.23
555	0.01	0.06	0.11	0.16	0.21
570	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
585	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
600	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
615	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
630	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
645	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
660	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
675	0.01	0.05	0.08	0.12	0.16
690	0.01	0.05	0.09	0.12	0.16
705	0.01	0.05	0.09	0.12	0.16
720	0.01	0.05	0.09	0.12	0.16



Gambar 4.4. Persentase kehilangan gas pembakaran pada langkah usaha

4.5 . Perhitungan Kehilangan Tekanan Maksimum Dalam Silinder

Dengan data persentase kehilangan udara dan gas pembakaran dilakukan perhitungan penurunan tekanan maksimum didalam silinder, dengan hasil pada Tabel 4.5, dan tergambar pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik kehilangan tekanan maksimum dalam silinder

Tabel 4.5. Penurunan tekanan maksimum dalam silinder

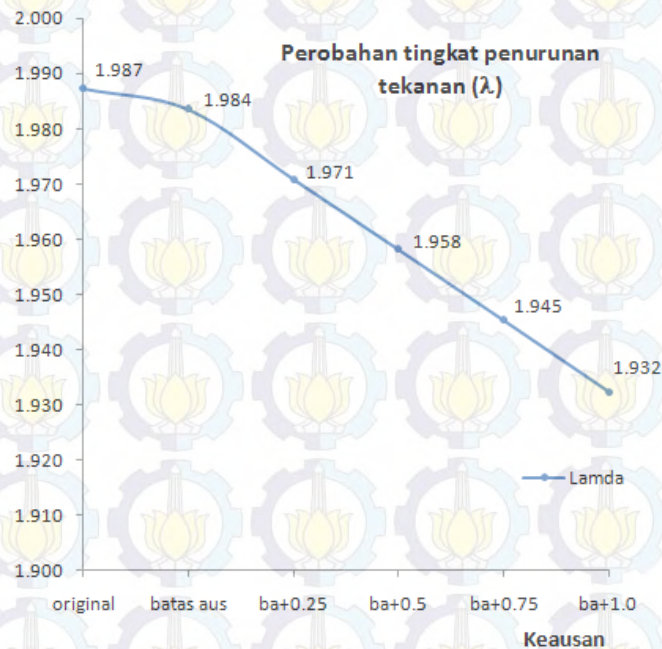
Putaran engkol	original	Keausan					Putaran engkol	original	Keausan				
		batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm			batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
15	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	375	129.00	128.75	127.93	127.10	126.27	125.43
30	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	390	86.00	85.87	85.42	84.97	84.52	84.06
45	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	405	37.41	37.40	37.24	37.12	36.99	36.86
60	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	420	18.58	18.56	18.52	18.47	18.43	18.10
75	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	435	10.92	10.92	10.90	10.88	10.86	10.84
90	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	450	6.92	6.92	6.91	6.90	6.89	6.88
105	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	465	4.95	4.94	4.94	4.93	4.93	4.92
120	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	480	3.87	3.87	3.87	3.86	3.86	3.85
135	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	495	3.35	3.35	3.35	3.35	3.34	3.34
150	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	510	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.91
165	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	525	2.54	2.54	2.53	2.53	2.53	2.53
180	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	540	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
195	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	555	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
210	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	570	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
225	1.38	1.38	1.38	1.37	1.37	1.37	585	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
240	1.51	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	600	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
255	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	615	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
270	2.80	2.79	2.79	2.79	2.79	2.79	630	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
285	4.47	4.47	4.47	4.46	4.46	4.45	645	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
300	8.17	8.17	8.15	8.14	8.13	8.11	660	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
315	17.20	17.19	17.15	17.10	17.06	17.02	675	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
330	36.00	35.96	35.83	35.70	35.57	35.44	690	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
345	64.91	64.82	64.50	64.18	63.86	63.54	705	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
360	129.00	128.75	127.93	127.10	126.27	125.43	720	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

4.6 . Perobahan Tingkat Penurunan Tekanan

Dengan berubahnya tekanan maksimum didalam silinder menyebabkan menurunnya tingkat kenaikan tekanan didalam silinder, yang terkorelasi terhadap keausan silinder liner seperti tergambar pada Gambar 4.6, dengan data penurunannya pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Korelasi keausan dan tingkat penurunan

Keausan	λ
original	1.98736712
batas aus	1.98357726
ba+0.25	1.97088276
ba+0.5	1.95811123
ba+0.75	1.94526267
ba+1.0	1.93232168



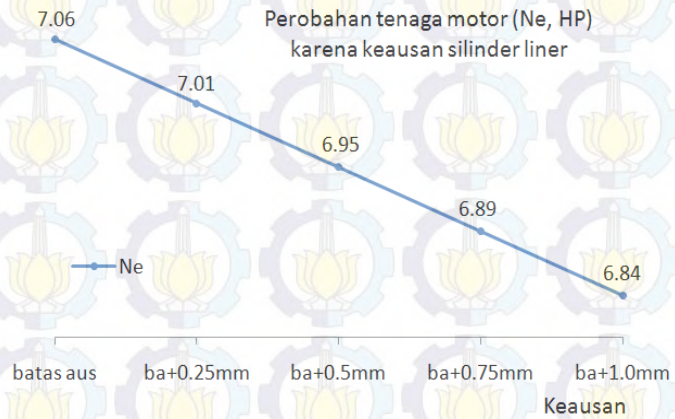
Gambar 4.6. Grafik tingkat penurunan tekanan

4.7 . Perobahan Daya Motor

Dengan data sketsa keausan yang diteliti dilakukan perhitungan terhadap perubahan tenaga motor, dan diperoleh variasi besaran tenaga motor seperti pada Tabel 4.7, dan tergambar pada Gambar 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7. Korelasi keausan dengan penurunan tenaga motor

Kausan (mm)	Ne, HP
batas aus	7.06
ba+0.25	7.01
ba+0.50	6.95
ba+0.75	6.89
ba+1.00	6.84



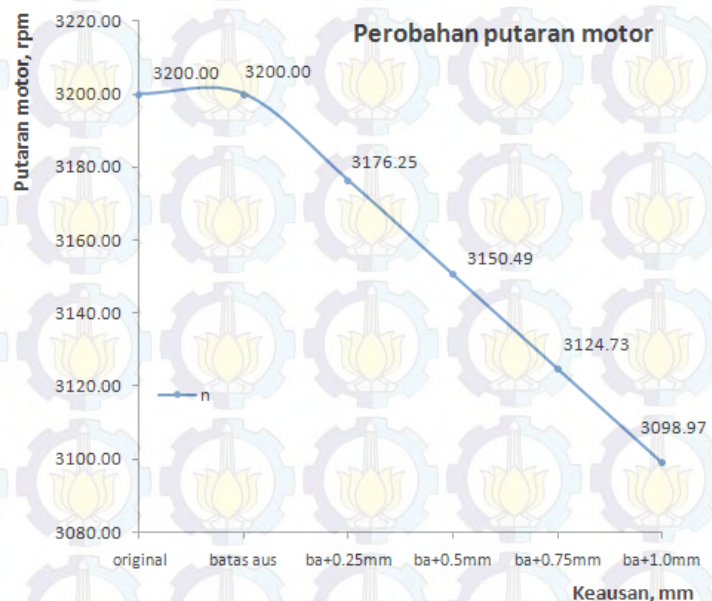
Gambar 4.7. Grafik probahan tenaga motor

4.8 . Perubahan Putaran Motor

Menurunnya tenaga motor, maka dalam waktu yang relatif panjang akan mempengaruhi putaran motor. Dan dari hasil perhitungan diperoleh besarnya pada Tabel 4.8, serta tergambar pada Gambar 4.8.

Tabel 4.8. Korelasi keausan dan tingkat penurunan putaran motor

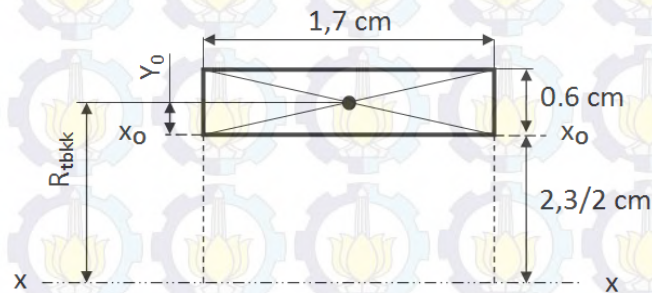
Kausan	n
original	3200.00
batas aus	3200.00
ba+0.25mm	3176.25
ba+0.5mm	3150.49
ba+0.75mm	3124.73
ba+1.0mm	3098.97



Gambar 4.8. Grafik probahan putaran motor

4.9 . Perhitungan Titik Berat Bagian Bagian Motor Yang Bergerak Translasi Dan Rotasi

4.9.1. Kepala Kecil



Gambar 4.9. Penampang kepala kecil bagian atas

- Penampang kepala kecil terdiri dari satu bagian, dengan luas

$$F = l \cdot b = 1,02 \text{ cm}^2$$

- Titik berat kepala kecil terhadap sumbu Xo-Xo adalah

$$Y_0 = \frac{F \cdot S}{F} = 0,3 \text{ cm}$$

- Radius titik berat kepala kecil

$$R_{tbkk} = \frac{D_2}{2} + Y_0 = 1,45 \text{ cm}$$

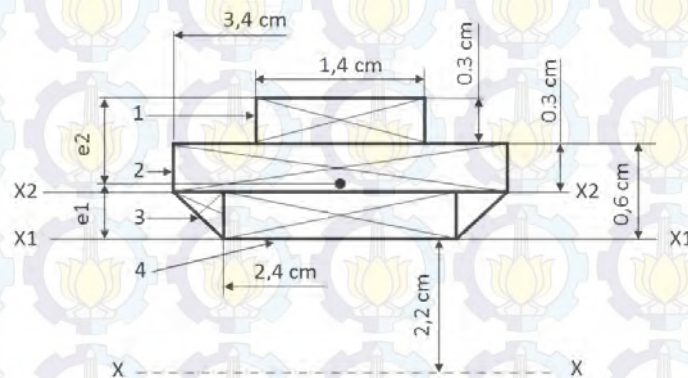
dengan : $D_2 = 23 \text{ cm}$

- Berat seluruh kepala kecil

$$B_{kk} = 2\pi \cdot R_{tbkk} \cdot F \cdot \gamma = 0,07291 \text{ kg}$$

Dengan : γ = berat jenis material, $0,00785 \text{ kg/cm}^2$

4.9.2. Kepala Besar Bagian Atas



Gambar 4.10. Penampang kepala besar bagian atas

Tabel 4.9. Titik berat bidang 1 dan 2 terhadap x2-x2

Komp.	F (cm2)	\bar{x} (cm)	\bar{y} (cm)	$\bar{x} F$ (cm2)	$\bar{y} F$ (cm2)	$\bar{y} = \Sigma \bar{y} F / \Sigma F, (cm)$
segi empat 1	0,42	0,825	0,75	0,3465	0,315	
segi empat 2	1,02	1,9	0,25	1,938	0,255	
Σ	1,44	2,725	1	2,2845	0,57	

Tabel 4.10. Titik berat bidang 1,2,dan 3 serta 4 terhadap X1-X1

Komp.	F (cm2)	\bar{x} (cm)	\bar{y} (cm)	$\bar{x} F$ (cm2)	$\bar{y} F$ (cm2)	$\bar{y} = \Sigma \bar{y} F / \Sigma F, (cm)$
bidang 1,2	1,44	2,725	1	2,2845	0,57	
segi tiga 3a	0,075	0,033	0,02	0,002475	0,0015	
segi tiga 3b	0,075	0,016	0,02	0,0012	0,0015	
segi empat 4	0,72	1,3	0,25	0,936	0,18	
Σ	2,31	4,074	1,29	3,224175	0,753	0,326

$$y_0 = 0,326 \text{ cm}$$

titik berat total bidang terhadap x1-x1, cm

$$F = 2,31 \text{ cm}^2$$

luas penampang, cm²

$$R_{tbkba} = 2,626 \text{ cm}$$

radius titik berat total bidang terhadap x-x, :

$$R_{tbkba} = Dk/2 + y_0 + Dd, \text{ cm}$$

dengan :

Dk - diameter pen engkol = 4,4 cm

Dd - tebal metal = 0,15 cm

berat penampang kepala besar bagian atas :

$$B_{kba} = p \cdot R_{tbkba} \cdot F \cdot g, \text{ kg}$$

$$B_{kba} = 0,14952 \text{ kg}$$

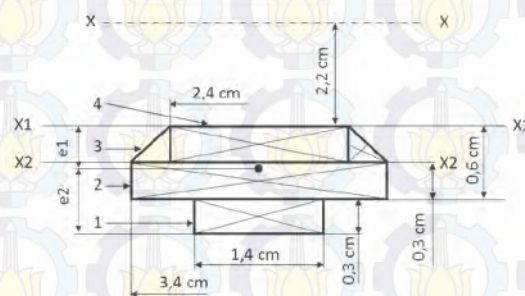
$$e1 = 0,326 \text{ cm}$$

$$e1 = y_0$$

$$e2 = 1,174$$

$$e2 = (1,0 + 0,5) - y_0$$

4.9.3. Kepala Besar Bagian Bawah



Gambar 4.11. Penampang kepala besar bagian bawah

Tabel 4.11. Titik berat bidang 1 dan 2 terhadap x2-x2

Komp.	F (cm ²)	\bar{x} (cm)	\bar{y} (cm)	$\bar{x} F$ (cm ²)	$\bar{y} F$ (cm ²)	$\bar{y} = \Sigma \bar{y} F / \Sigma F$, (cm)
segi empat 1	0,42	0,825	0,75	0,3465	0,315	
segi empat 2	1,02	1,9	0,25	1,938	0,255	
Σ	1,44	2,725	1	2,2845	0,57	

Tabel 4.12. Titik berat bidang 1,2 dan 2 serta 4 terhadap x1-x1

Komp.	F (cm ²)	\bar{x} (cm)	\bar{y} (cm)	$\bar{x} F$ (cm ²)	$\bar{y} F$ (cm ²)	$\bar{y} = \Sigma \bar{y} F / \Sigma F$, (cm)
bidang 1,2	1,44	2,725	1	2,2845	0,57	
segi tiga 3a	0,075	0,033	0,02	0,002475	0,0015	
segi tiga 3b	0,075	0,016	0,02	0,0012	0,0015	
segi empat 4	0,72	1,3	0,25	0,936	0,18	
Σ	2,31	4,074	1,29	3,224175	0,753	0,326

$y_0 = 0,326$ cm titik berat total bidang terhadap x1-x1, cm

$F = 2,31$ cm² luas penampang, cm²

$R_{tbkba} = 2,626$ cm radius titik berat total bidang terhadap x-x,

$R_{tbkba} = Dk/2 + y_0 + Dd$, cm

dengan :

Dk - diameter pen engkol = 4,4 cm

Dd - tebal metal = 0,15 cm

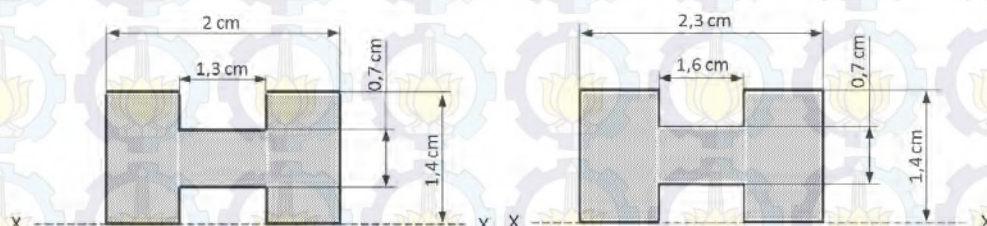
$B_{kba} = 0,14952$ kg berat penampang kepala besar bagian bawah,

$B_{kba} = p \cdot R_{tbkba} \cdot F \cdot g$, kg

$e1 = 0,326$ cm $e1 = y_0$

$e2 = 1,174$ $e2 = (1,0 + 0,5) - y_0$

4.9.4. Batang Penghubung



Gambar 4.12. Penampang batang penghubung

Tabel 4.13. Titik berat penampang 1 dan 2 terhadap x-x

Komp.	F (cm ²)	\bar{x} (cm)	\bar{y} (cm)	$\bar{x} F$ (cm ²)	$\bar{y} F$ (cm ²)	$\bar{y} = \Sigma \bar{y} F / \Sigma F$, (cm)
penampang 1						
segi empat 1	0,49	0,175	0,7	0,086	0,343	
segi empat 2	0,91	1,000	0,7	0,910	0,637	
segi empat 3	0,49	1,825	0,7	0,894	0,343	
penampang 2						
segi empat 1	0,49	0,175	0,7	0,086	0,343	
segi empat 2	0,91	1,000	0,7	0,910	0,637	
segi empat 3	0,49	1,825	0,7	0,894	0,343	
Σ	3,78	6	4,2	3,780	2,646	0,70

$$y_0 = 0,70 \text{ cm}$$

$$F = 1,995 \text{ cm}^2$$

Luas penampang batang penghubung :

$$F = ((B1.H1) + (B2.H2)) / 2 - ((b1.h1) + (b2.h2)) / 2, \text{ cm}^2,$$

dengan :

$$B1 = 2 \text{ lebar terbesar penampang pada ujung pen torak, cm}$$

$$b1 = 1,3 \text{ lebar terkecil penampang pada ujung pen torak, cm}$$

$$B2 = 2,3 \text{ lebar terbesar penampang pada ujung pen engkol, cm}$$

$$b2 = 1,6 \text{ lebar terkecil penampang pada ujung pen engkol, cm}$$

$$H1 = 1,4 \text{ tinggi terbesar penampang pada ujung pen torak, cm}$$

$$h1 = 0,7 \text{ tinggi terkecil penampang pada ujung pen torak, cm}$$

$$H2 = 1,4 \text{ tinggi terbesar penampang pada ujung pen engkol, cm}$$

$$h2 = 0,7 \text{ tinggi terkecil penampang pada ujung pen engkol, cm}$$

4.9.5. Titik Berat Batang Penghubung

$$Lcr_0 = 8,5 \text{ cm} \text{ Panjang batang penghubung,}$$

$$Lcr = L - (r1 + r2) = 8,5 \text{ cm (data pengukuran)}$$

$$Bcr = 0,133 \text{ kg} \text{ Berat batang penghubung, } Bcr = Lcr.F.g, \text{ kg}$$

$$Btbp = 0,505 \text{ kg} \text{ Berat total batang penghubung,}$$

$$Btbp = Bkk + Bcr + Bkba + Bkbb, \text{ kg}$$

$$Yo = 3,872 \text{ cm} \text{ Titik berat batang penghubung dari sumbu x-x, adalah :}$$

$$yo = ((Bkk.y1) + (Bcr.y2) + (Bkb.y3)) / (Bkk + Bcr + Bkb), \text{ kg}$$

$$\text{dengan : } y1_0 - \text{panjang batang penghubung} = 13 \text{ cm}$$

$$Bbp-t = 0,150 \text{ kg} \text{ berat batang penghubung yang bergerak translasi,}$$

$$Bbp-r = 0,355 \text{ kg}$$

Bbp-t = (yo/y1).Btbp, kg
 berat batang penghubung yang bergerak rotasi,
 $Bbp-r = Btbp - Bbp-t$,
 kg

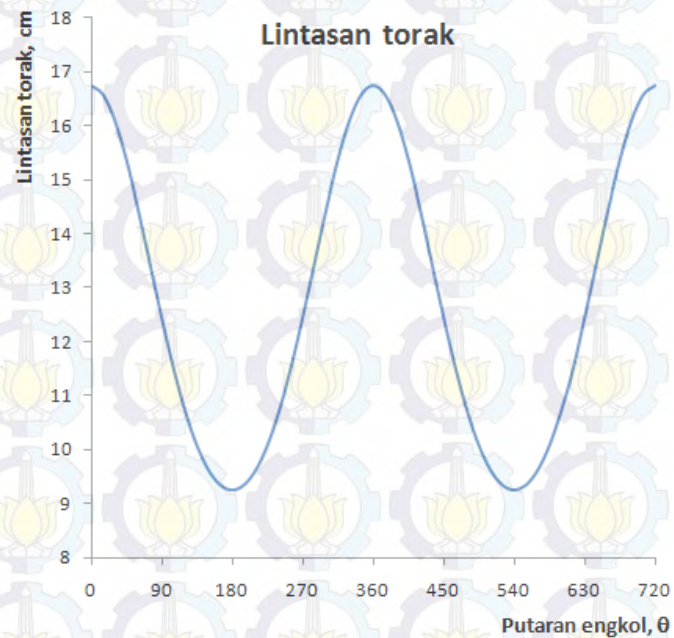
4.10. Perhitungan Dinamika Gaya

4.10.1. Lintasan Torak

Adapun lintasan torak yang bergerak sepanjang satu siklus kerja motor relatif tidak mengalami perubahan walaupun silinder linernya mengalami keausan, dan tergambar pada Gambar 4.13, dengan pada Tabel 4.14, seperti dibawah ini.

Tabel 4.14. Korelasi putaran engkol dan lintasan torak

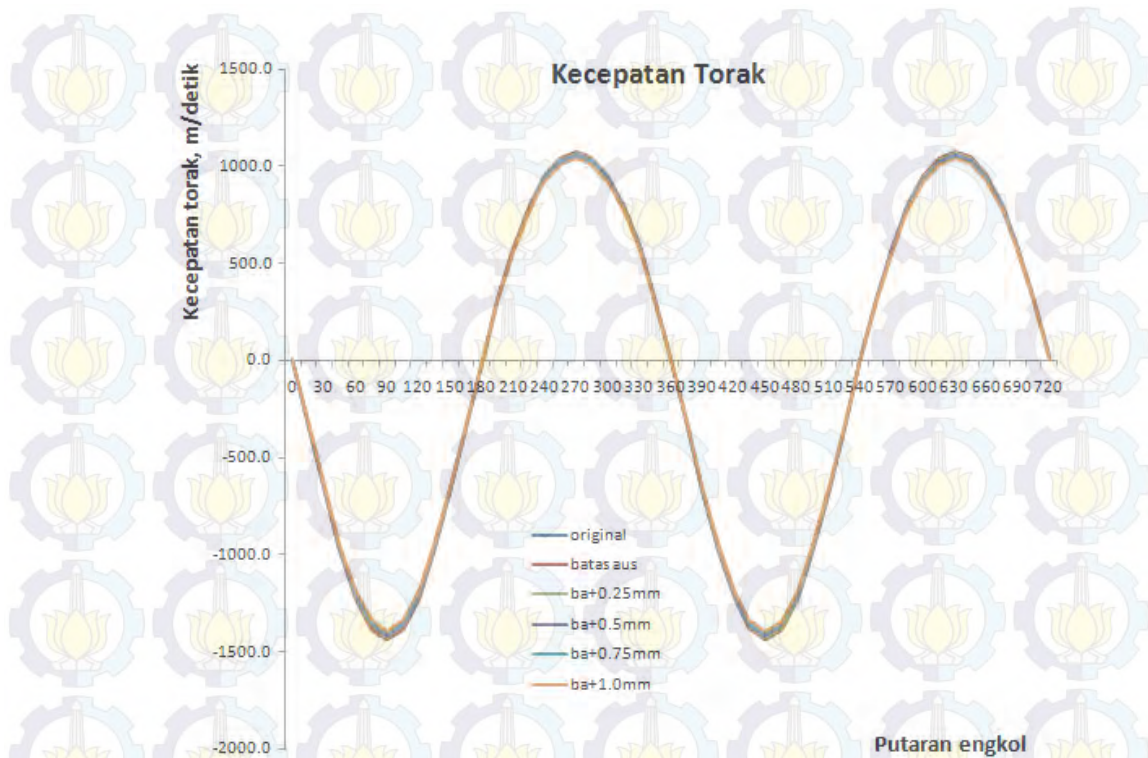
θ	Spi	θ	Spi
15	16.59	375	16.59
30	16.11	390	16.12
45	15.38	405	15.39
60	14.47	420	14.48
75	13.47	435	13.48
90	12.46	450	12.47
105	11.53	465	11.54
120	10.72	480	10.73
135	10.08	495	10.09
150	9.62	510	9.62
165	9.34	525	9.34
180	9.25	540	9.25
195	9.34	555	9.34
210	9.61	570	9.61
225	10.07	585	10.07
240	10.71	600	10.70
255	11.52	615	11.47
270	12.45	630	12.44
285	13.46	645	13.44
300	14.46	660	14.45
315	15.37	675	15.36
330	16.11	690	16.10
345	16.58	705	16.58
360	16.75	720	16.75



Gambar 4.13. Grafik lintasan torak

4.10.2. Kecepatan Torak

Dari hasil perhitungan kecepatan torak, diperoleh besaran bahwa torak mengalami perlambatan tengah langkah torak, setelah silinder liner mengalami keausan, seperti tergambar pada Gambar 4.14, dengan data perubahan pada Tabel 4.15.



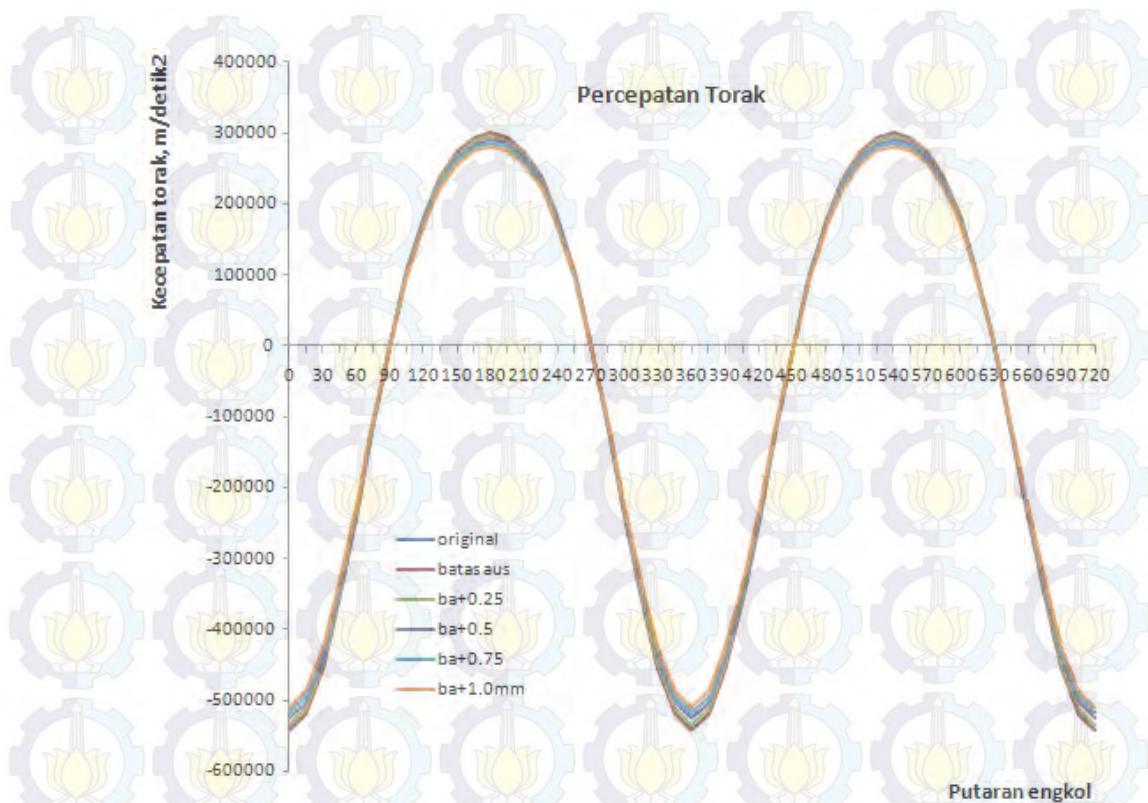
Gambar 4.14. Grafik kecepatan torak

Table 4.15. Kecepatan torak

φ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm	φ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	375	-332.9	-332.9	-330.4	-327.7	-325.1	-322.4
15	-337.0	-337.0	-334.5	-331.8	-329.1	-326.4	390	-669.0	-669.0	-664.0	-658.6	-653.3	-647.9
30	-673.0	-673.0	-668.0	-662.5	-657.1	-651.7	405	-974.9	-974.9	-967.6	-959.8	-951.9	-944.1
45	-978.3	-978.3	-971.0	-963.1	-955.3	-947.4	420	-1220.7	-1220.7	-1211.6	-1201.8	-1192.0	-1182.1
60	-1223.2	-1223.2	-1214.1	-1204.3	-1194.4	-1184.6	435	-1380.6	-1380.6	-1370.4	-1359.2	-1348.1	-1337.0
75	-1381.9	-1381.9	-1371.7	-1360.6	-1349.4	-1338.3	450	-1437.1	-1437.1	-1426.5	-1414.9	-1403.3	-1391.8
90	-1437.2	-1437.2	-1426.5	-1414.9	-1403.3	-1391.8	465	-1383.9	-1383.9	-1373.6	-1362.5	-1351.4	-1340.2
105	-1382.6	-1382.6	-1372.3	-1361.2	-1350.1	-1339.0	480	-1226.9	-1226.9	-1217.8	-1207.9	-1198.1	-1188.2
120	-1224.4	-1224.4	-1215.3	-1205.5	-1195.6	-1185.8	495	-983.4	-983.4	-976.1	-968.2	-960.2	-952.3
135	-980.0	-980.0	-972.7	-964.8	-956.9	-949.0	510	-678.9	-678.9	-673.9	-668.4	-662.9	-657.5
150	-674.9	-674.9	-669.9	-664.5	-659.1	-653.6	525	-343.3	-343.3	-340.7	-338.0	-335.2	-332.4
165	-339.1	-339.1	-336.6	-333.9	-331.1	-328.4	540	-6.0	-6.0	-6.0	-5.9	-5.9	-5.8
180	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.9	555	307.4	307.4	305.1	302.7	300.2	297.7
195	311.0	311.0	308.7	306.2	303.7	301.2	570	578.0	578.0	573.7	569.1	564.4	559.8
210	581.0	581.0	576.7	572.0	567.3	562.6	585	793.9	793.9	788.0	781.6	775.2	768.8
225	796.1	796.1	790.2	783.8	777.4	771.0	600	949.3	949.3	942.3	934.7	927.0	919.4
240	950.9	950.9	943.8	936.1	928.5	920.8	615	1042.9	1042.9	1035.2	1026.8	1018.4	1010.0
255	1043.7	1043.7	1035.9	1027.5	1019.1	1010.7	630	1074.8	1074.8	1066.9	1058.2	1049.6	1040.9
270	1074.8	1074.8	1066.9	1058.2	1049.6	1040.9	645	1045.5	1045.5	1037.7	1029.3	1020.9	1012.5
285	1044.8	1044.8	1037.0	1028.6	1020.2	1011.8	660	954.6	954.6	947.5	939.8	932.1	924.5
300	953.1	953.1	946.0	938.4	930.7	923.0	675	801.8	801.8	795.8	789.4	782.9	776.4
315	799.5	799.5	793.6	787.1	780.7	774.3	690	588.4	588.4	584.0	579.3	574.5	569.8
330	585.4	585.4	581.1	576.4	571.7	566.9	705	319.9	319.9	317.6	315.0	312.4	309.8
345	316.4	316.4	314.0	311.5	308.9	306.4	720	8.0	8.0	7.9	7.9	7.8	7.7
360	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9							

4.10.3. Percepatan Torak

Hasil perhitungan percepatan torak diperoleh data pada Tabel 4.16, bahwa percepatan torak berkurang pada posisi TMA dan TMB untuk tiap besaran keausan, seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Grafik lintasan torak

Table 4.16. Perecepatan torak

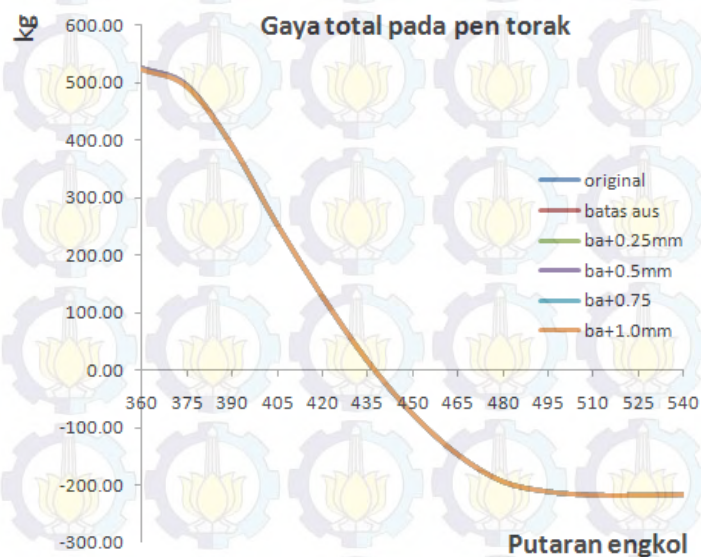
ϕ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm	ϕ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
0	-542025.19	-542025.19	-534009.36	-525382.65	-516826.18	-508339.97	375	-520121.34	-520121.34	-512429.44	-504151.35	-495940.66	-487797.38
15	-519584.65	-519584.65	-511900.69	-503631.13	-495428.92	-487294.04	390	-456413.6	-456413.6	-449663.85	-442399.71	-435194.71	-428048.88
30	-455411.74	-455411.74	-448676.81	-441428.61	-434239.43	-427109.28	405	-359636.39	-359636.39	-354317.84	-348593.98	-342916.72	-337286.08
45	-358304.23	-358304.23	-353005.39	-347302.73	-341646.5	-336036.71	420	-242419.15	-242419.15	-238834.1	-234975.82	-231148.97	-227353.54
60	-240924.55	-240924.55	-237361.6	-233527.12	-229723.86	-225951.82	435	-118806.12	-118806.12	-117049.13	-115158.25	-113282.76	-111422.68
75	-117317.8	-117317.8	-115582.83	-113715.63	-111863.64	-110026.86	450	-1676.8983	-1676.8983	-1652.0992	-1625.4102	-1598.9385	-1572.6841
90	-335.0727	-335.0727	-330.11742	-324.7845	-319.49501	-314.24895	465	99325.2952	99325.2952	97856.4067	96275.5745	94707.6154	93152.5294
105	100428.914	100428.914	98943.7041	97345.3071	95759.9262	94187.5613	480	178896.962	178896.962	176251.314	173404.043	170579.958	167779.058
120	179725.478	179725.478	177067.578	174207.121	171369.956	168556.085	495	236014.379	236014.379	232524.042	228767.706	225041.96	221346.802
135	236578	236578	233079.327	229314.022	225579.378	221875.395	510	272827.236	272827.236	268792.485	264450.247	260143.369	255871.851
150	273164.742	273164.742	269125	264777.391	260465.185	256188.382	525	292895.943	292895.943	288564.403	283902.758	279279.073	274693.349
165	293051.399	293051.399	288717.56	284053.44	279427.302	274839.144	540	299325.312	299325.312	294898.69	290134.717	285409.537	280723.152
180	299327.118	299327.118	294900.469	290136.467	285411.259	280724.845	555	293356.339	293356.339	289017.99	284349.017	279718.064	275125.132
195	293204.863	293204.863	288868.754	284202.192	279573.631	274983.07	570	273832.358	273832.358	269782.743	265424.508	261101.763	256814.508
210	273499.781	273499.781	269455.084	265102.142	260784.647	256502.599	585	237696.187	237696.187	234180.978	230397.875	226645.58	222924.09
225	237138.601	237138.601	233631.638	229857.409	226113.916	222401.156	600	181372.416	181372.416	178690.16	175803.49	172940.327	170100.67
240	180550.629	180550.629	177880.526	175006.936	172156.745	169329.955	615	102626.438	102626.438	101108.73	99475.358	97855.2867	96248.5164
255	101529.296	101529.296	100027.814	98411.9033	96809.1516	95219.5586	630	2341.18774	2341.18774	2306.5647	2269.30304	2232.34482	2195.69002
270	1004.29383	1004.29383	989.441663	973.457618	957.603735	941.880014	645	-114344.27	-114344.27	-112653.27	-110833.4	-109028.36	-107238.12
285	-115830.51	-115830.51	-114117.53	-112274.01	-110445.5	-108632	660	-237932.66	-237932.66	-234413.95	-230627.09	-226871.06	-223145.87
300	-239429.05	-239429.05	-235888.21	-232077.53	-228297.88	-224549.26	675	-355630.89	-355630.89	-350371.58	-344711.47	-339097.44	-333529.51
315	-356969.06	-356969.06	-351689.96	-346008.55	-340373.4	-334784.52	690	-453393.25	-453393.25	-446688.17	-439472.09	-432314.78	-425216.23
330	-454404.95	-454404.95	-447684.9	-440452.73	-433279.45	-426165.06	705	-518492.52	-518492.52	-510824.71	-502572.53	-494387.56	-486269.78
345	-519041.71	-519041.71	-511365.78	-503104.86	-494911.22	-486784.84	720	-542011.73	-542011.73	-533996.1	-525369.6	-516813.35	-508327.34
360	-542021.82	-542021.82	-534006.04	-525379.39	-516822.97	-508336.81							

4.11. Perhitungan Gaya Total

Dari hasil perhitungan gaya total, diperoleh besaran gaya maksimum pada posisi TMA awal langkah usaha dengan putaran engkol 360 derajat.

Tabel 4.17. Gaya total pada pen torak

ϕ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
	kg					
360	527.19	527.19	526.10	525.20	524.29	523.38
375	497.47	497.47	496.38	495.48	494.58	493.67
390	391.35	391.35	391.35	391.35	391.35	391.35
405	254.14	254.14	254.14	254.14	254.14	254.14
420	129.11	129.11	129.11	129.11	129.11	129.11
435	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65
450	-75.81	-75.81	-75.81	-75.81	-75.81	-75.81
465	-146.73	-146.73	-146.73	-146.73	-146.73	-146.73
480	-194.08	-194.08	-194.08	-194.08	-194.08	-194.08
495	-211.49	-211.49	-211.49	-211.49	-211.49	-211.49
510	-217.86	-217.86	-217.86	-217.86	-217.86	-217.86
525	-218.01	-218.01	-218.01	-218.01	-218.01	-218.01
540	-216.62	-216.62	-216.62	-216.62	-216.62	-216.62



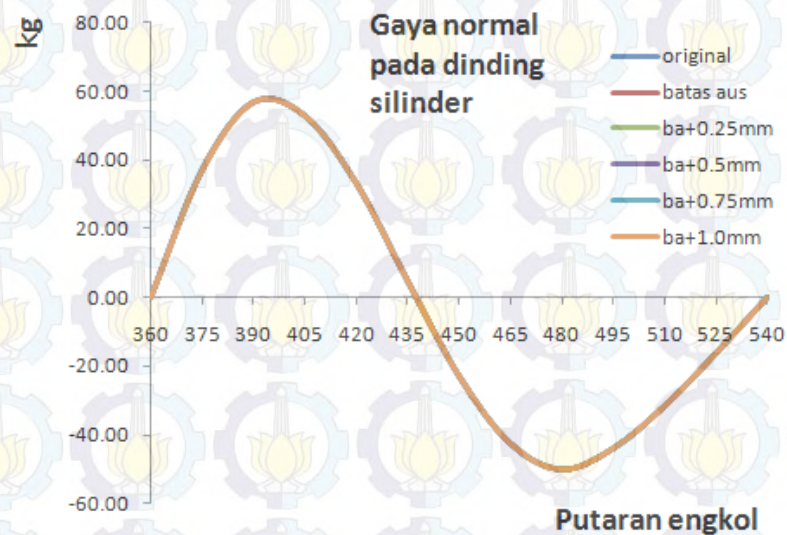
Gambar 4.16. Grafik gaya total pada pen torak

4.12. Perhitungan Gaya Normal

Besarnya gaya normal pada torak yang menekan dinding silinder pada tiap langkah usaha relatif tidak berubah, sesuai hasil perhitungan pada Tabel 4.18, dan ditunjukkan pada Gambar 4.17.

Tabel 4.18. Gaya normal pada dinding silinder

ϕ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
	kg					
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
375	37.21	37.21	37.13	37.06	37.00	36.93
390	56.85	56.85	56.85	56.85	56.85	56.85
405	52.88	52.88	52.88	52.88	52.88	52.88
420	33.32	33.32	33.32	33.32	33.32	33.32
435	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
450	-22.82	-22.82	-22.82	-22.82	-22.82	-22.82
465	-42.50	-42.50	-42.50	-42.50	-42.50	-42.50
480	-50.09	-50.09	-50.09	-50.09	-50.09	-50.09
495	-44.01	-44.01	-44.01	-44.01	-44.01	-44.01
510	-31.65	-31.65	-31.65	-31.65	-31.65	-31.65
525	-16.31	-16.31	-16.31	-16.31	-16.31	-16.31
540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



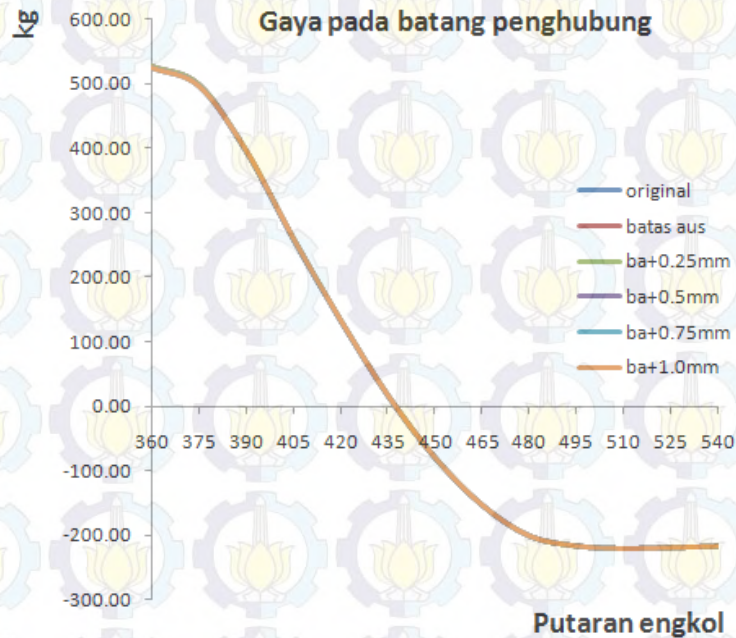
Gambar 4.17. Grafik gaya normal pada dinding silinder

4.13. Perhitungan Gaya Pada Batang Penghubung

Hasil perhitungan terhadap gaya yang bekerja pada batang penghubung Tabel 4.19, menunjukkan bahwa tiap perubahan keausan silinder liner relatif mempengaruhi besaran gaya yang diterima batang penghubung pada 360 derajat putaran engkol seperti pada Gambar 4.18.

Tabel 4.19. Gaya pada batang penghubung

ϕ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
360	527.19	527.19	526.10	525.20	524.29	523.38
375	498.86	498.86	497.77	496.87	495.96	495.05
390	395.46	395.46	395.46	395.46	395.46	395.46
405	259.59	259.59	259.59	259.59	259.59	259.59
420	133.34	133.34	133.34	133.34	133.34	133.34
435	17.33	17.33	17.33	17.33	17.33	17.33
450	-79.17	-79.17	-79.17	-79.17	-79.17	-79.17
465	-152.76	-152.76	-152.76	-152.76	-152.76	-152.76
480	-200.44	-200.44	-200.44	-200.44	-200.44	-200.44
495	-216.02	-216.02	-216.02	-216.02	-216.02	-216.02
510	-220.14	-220.14	-220.14	-220.14	-220.14	-220.14
525	-218.62	-218.62	-218.62	-218.62	-218.62	-218.62
540	-216.62	-216.62	-216.62	-216.62	-216.62	-216.62



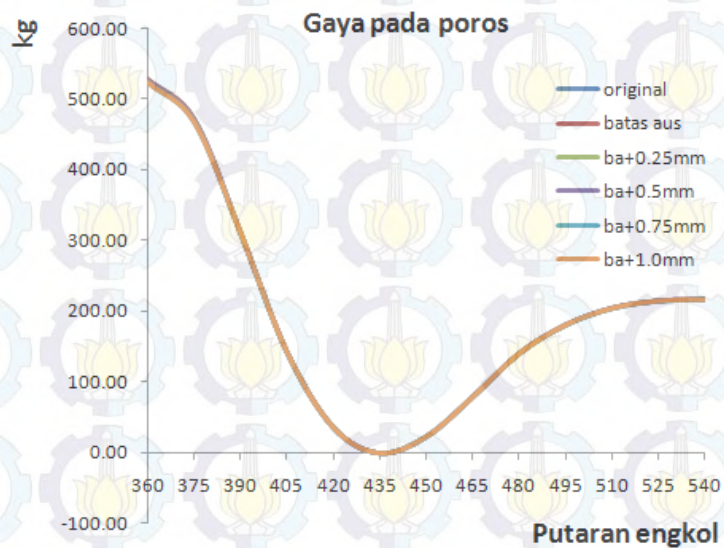
Gambar 4.18. Grafik gaya pada batang penghubung

4.14. Perhitungan Gaya Pada Poros

Gaya yang bekerja pada poros untuk tiap langkah usaha relatif menurun akibat keausan silinder liner yang ditunjukkan pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.19.

Tabel 4.20. Gaya pada poros

φ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
	kg					
360	527.19	527.19	526.10	525.20	524.29	523.38
375	470.91	470.91	469.88	469.03	468.17	467.31
390	310.56	310.56	310.56	310.56	310.56	310.56
405	142.40	142.40	142.40	142.40	142.40	142.40
420	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76
435	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34
450	22.76	22.76	22.76	22.76	22.76	22.76
465	78.90	78.90	78.90	78.90	78.90	78.90
480	140.27	140.27	140.27	140.27	140.27	140.27
495	180.52	180.52	180.52	180.52	180.52	180.52
510	204.39	204.39	204.39	204.39	204.39	204.39
525	214.75	214.75	214.75	214.75	214.75	214.75
540	216.62	216.62	216.62	216.62	216.62	216.62



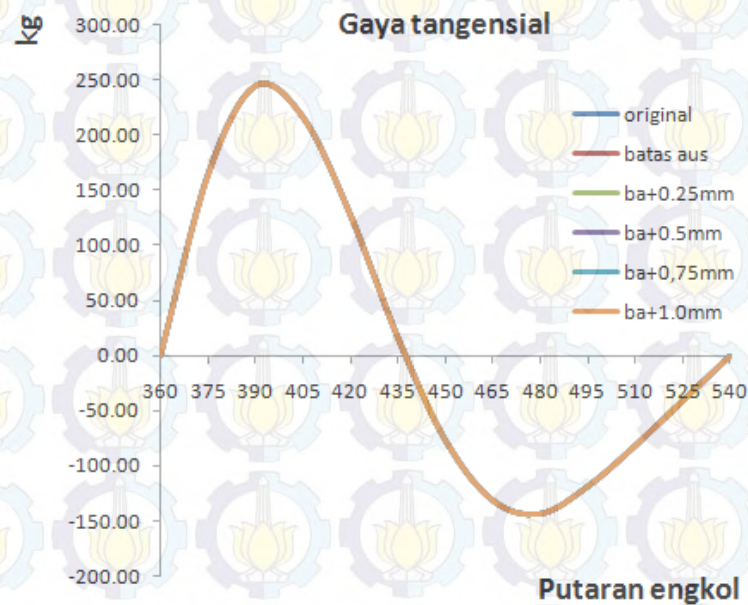
Gambar 4.19. Grafik gaya pada poros

4.15. Perhitungan Gaya Tangensial

Gaya tangensial yang bekerja pada dinamika engkol relatip menurun pada 375 derajat putaran engkol setelah terjadi keausan silinder liner yang ditunjuk pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.20, sedangkan pada putaran engkol selanjutnya gaya tersebut tidak mengalami perubahan.

Tabel 4.21. Gaya Tangensial

ϕ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
	kg					
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
375	164.64	164.64	164.27	163.98	163.68	163.38
390	244.83	244.83	244.83	244.83	244.83	244.83
405	217.04	217.04	217.04	217.04	217.04	217.04
420	128.46	128.46	128.46	128.46	128.46	128.46
435	17.33	17.33	17.33	17.33	17.33	17.33
450	-75.83	-75.83	-75.83	-75.83	-75.83	-75.83
465	-130.81	-130.81	-130.81	-130.81	-130.81	-130.81
480	-143.18	-143.18	-143.18	-143.18	-143.18	-143.18
495	-118.64	-118.64	-118.64	-118.64	-118.64	-118.64
510	-81.79	-81.79	-81.79	-81.79	-81.79	-81.79
525	-40.99	-40.99	-40.99	-40.99	-40.99	-40.99
540	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34



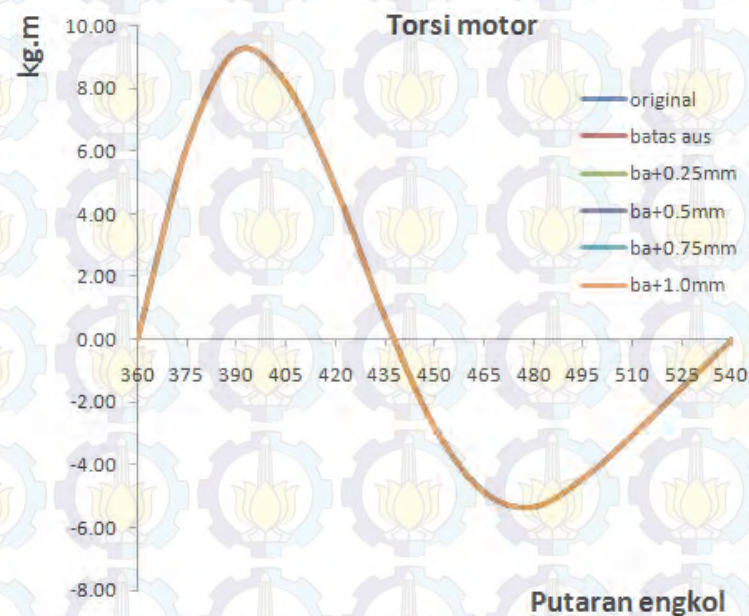
Gambar 4.20. Grafik gaya tangensial

4.16. Perhitungan Torsi Motor

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa pengurangan torsi motor akibat keausan silinder liner relatif terjadi pada posisi 375 derajat putaran engkol sesuai Tabel 4.22, dan maksimum pada 390 derajat putaran engkol, seperti pada Gambar 4.21.

Tabel 4.22. Torsi Motor

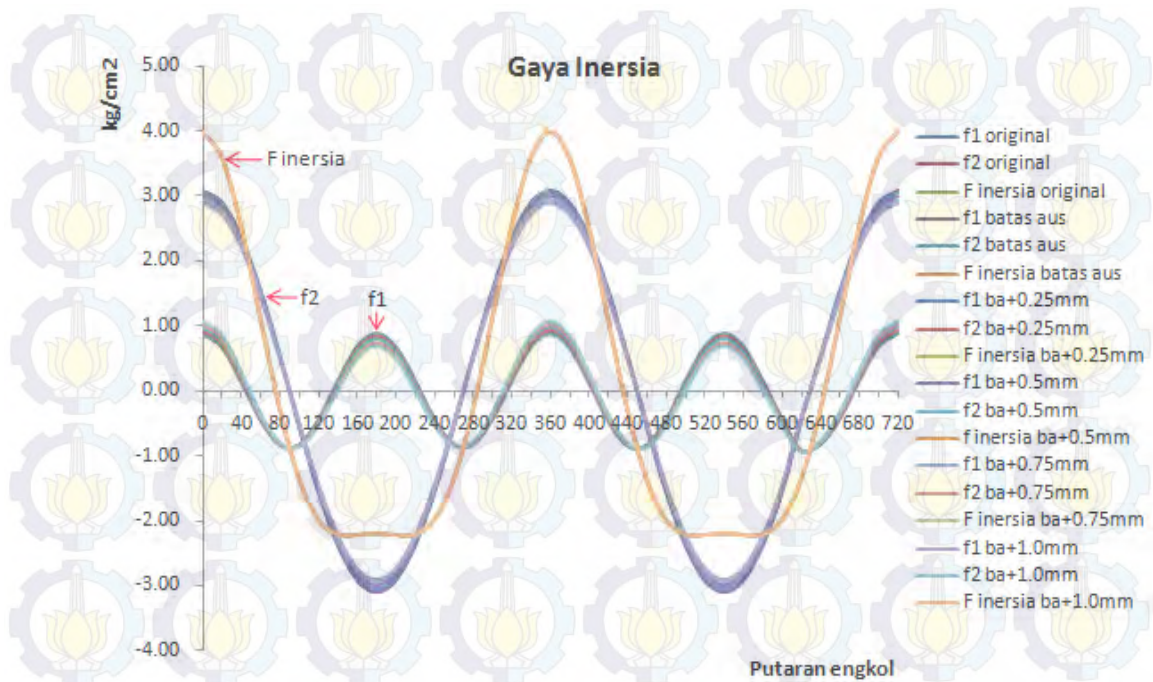
φ	original	batas aus	ba+0.25mm	ba+0.5mm	ba+0.75mm	ba+1.0mm
	Torsi motor (kg.m)					
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
375	6.17	6.17	6.16	6.15	6.14	6.13
390	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18
405	8.14	8.14	8.14	8.14	8.14	8.14
420	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
435	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
450	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84
465	-4.91	-4.91	-4.91	-4.91	-4.91	-4.91
480	-5.37	-5.37	-5.37	-5.37	-5.37	-5.37
495	-4.45	-4.45	-4.45	-4.45	-4.45	-4.45
510	-3.07	-3.07	-3.07	-3.07	-3.07	-3.07
525	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54
540	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01



Gambar 4.21. Grafik torsi motor

4.17. Gaya Inersia

Dari hasil perhitungan gaya inersia menunjukkan bahwa gaya inersia orde 1 yang berkaitan dengan frekuensi putaran poros secara keseluruhan mengalami penurunan sebaliknya gaya inersia orde 2 mengalami kenaikan, sedangkan gaya inersia sendiri yang diperoleh dari hasil penjumlahan gaya inersia orde 1 dan 2 terlihat konstan pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Grafik gaya inersia

Tabel 4.23. Gaya Inersia

φ	original			batas aus			ba+0.25mm			ba+0.5mm			ba+0.75mm			ba+1.0mm		
	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia
0	308.5	89.0	397.5	308.5	89.0	397.5	303.9	93.5	397.5	299.0	98.5	397.5	294.1477	103.3293	397.477	289.3	108.2	397.5
20	289.9	67.9	357.8	289.9	67.9	357.8	285.6	72.2	357.8	281.0	76.8	357.8	276.4262	81.42162	357.8478	271.9	86.0	357.8
40	236.4	15.0	251.4	236.4	15.0	251.4	232.9	18.5	251.4	229.1	22.3	251.4	225.3971	26.02184	251.4189	221.7	29.7	251.4
60	154.4	-44.6	109.8	154.4	-44.6	109.8	152.1	-42.3	109.8	149.6	-39.8	109.8	147.2091	-37.3868	109.8223	144.8	-35.0	109.8
80	53.8	-83.7	-29.9	53.8	-83.7	-29.9	53.0	-82.9	-29.9	52.1	-82.1	-29.9	51.28324	-81.2067	-29.9235	50.4	-80.4	-29.9
100	-53.2	-83.7	-137.0	-53.2	-83.7	-137.0	-52.5	-84.5	-137.0	-51.7	-85.3	-137.0	-50.8219	-86.1475	-136.969	-50.0	-87.0	-137.0
120	-154.0	-44.7	-198.7	-154.0	-44.7	-198.7	-151.7	-47.0	-198.7	-149.2	-49.4	-198.7	-146.803	-51.864	-198.667	-144.4	-54.3	-198.7
140	-236.1	14.9	-221.2	-236.1	14.9	-221.2	-232.6	11.4	-221.2	-228.8	7.6	-221.2	-225.096	3.908837	-221.187	-221.4	0.2	-221.2
160	-289.7	67.9	-221.8	-289.7	67.9	-221.8	-285.5	63.6	-221.8	-280.8	59.0	-221.8	-276.266	54.46175	-221.804	-271.7	49.9	-221.8
180	-308.5	88.8	-219.6	-308.5	88.8	-219.6	-303.9	84.3	-219.6	-299.0	79.4	-219.6	-294.147	74.50278	-219.645	-289.3	69.7	-219.6
200	-290.1	68.3	-221.8	-290.1	68.3	-221.8	-285.8	64.0	-221.8	-281.2	59.4	-221.8	-276.586	54.78205	-221.804	-272.0	50.2	-221.8
220	-236.7	15.5	-221.2	-236.7	15.5	-221.2	-233.2	12.0	-221.2	-229.4	8.2	-221.2	-225.698	4.510843	-221.187	-222.0	0.8	-221.2
240	-154.8	-43.9	-198.7	-154.8	-43.9	-198.7	-152.5	-46.1	-198.7	-150.1	-48.6	-198.7	-147.614	-51.0528	-198.667	-145.2	-53.5	-198.7
260	-54.3	-82.7	-137.0	-54.3	-82.7	-137.0	-53.5	-83.5	-137.0	-52.6	-84.4	-137.0	-51.7445	-85.2249	-136.969	-50.9	-86.1	-137.0
280	52.8	-82.7	-29.9	52.8	-82.7	-29.9	52.0	-82.0	-29.9	51.2	-81.1	-29.9	50.36038	-80.2839	-29.9235	49.5	-79.5	-29.9
300	153.5	-43.7	109.8	153.5	-43.7	109.8	151.3	-41.4	109.8	148.8	-39.0	109.8	146.3971	-36.5749	109.8223	144.0	-34.2	109.8
320	235.8	15.7	251.4	235.8	15.7	251.4	232.3	19.2	251.4	228.5	22.9	251.4	224.7939	26.62499	251.4189	221.1	30.3	251.4
340	289.6	68.3	357.8	289.6	68.3	357.8	285.3	72.6	357.8	280.7	77.2	357.8	276.1045	81.74332	357.8478	271.6	86.3	357.8
360	308.5	89.0	397.5	308.5	89.0	397.5	303.9	93.6	397.5	299.0	98.5	397.5	294.1462	103.3308	397.477	289.3	108.2	397.5

φ	original			batas aus			ba+0.25mm			ba+0.5mm			ba+0.75mm			ba+1.0mm		
	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia	f1	f2	F inersia
380	290.2	67.6	357.8	290.2	67.6	357.8	285.9	71.9	357.8	281.3	76.5	357.8	276.7451	81.10272	357.8478	272.2	85.6	357.8
400	237.0	14.4	251.4	237.0	14.4	251.4	233.5	17.9	251.4	229.7	21.7	251.4	225.998	25.42098	251.4189	222.3	29.1	251.4
420	155.2	-45.4	109.8	155.2	-45.4	109.8	152.9	-43.1	109.8	150.5	-40.6	109.8	148.0195	-38.1972	109.8223	145.6	-35.8	109.8
440	54.8	-84.7	-29.9	54.8	-84.7	-29.9	53.9	-83.9	-29.9	53.1	-83.0	-29.9	52.20558	-82.1291	-29.9235	51.3	-81.3	-29.9
460	-52.3	-84.6	-137.0	-52.3	-84.6	-137.0	-51.6	-85.4	-137.0	-50.7	-86.2	-137.0	-49.8988	-87.0706	-136.969	-49.1	-87.9	-137.0
480	-153.1	-45.6	-198.7	-153.1	-45.6	-198.7	-150.8	-47.8	-198.7	-148.4	-50.3	-198.7	-145.991	-52.6766	-198.667	-143.6	-55.1	-198.7
500	-235.4	14.3	-221.2	-235.4	14.3	-221.2	-232.0	10.8	-221.2	-228.2	7.0	-221.2	-224.492	3.304547	-221.187	-220.8	-0.4	-221.2
520	-289.4	67.6	-221.8	-289.4	67.6	-221.8	-285.1	63.3	-221.8	-280.5	58.7	-221.8	-275.943	54.13865	-221.804	-271.4	49.6	-221.8
540	-308.5	88.8	-219.6	-308.5	88.8	-219.6	-303.9	84.3	-219.6	-299.0	79.4	-219.6	-294.144	74.4998	-219.645	-289.3	69.7	-219.6
560	-290.4	68.6	-221.8	-290.4	68.6	-221.8	-286.1	64.3	-221.8	-281.5	59.7	-221.8	-276.903	55.09954	-221.804	-272.4	50.6	-221.8
580	-237.3	16.1	-221.2	-237.3	16.1	-221.2	-233.8	12.6	-221.2	-230.0	8.9	-221.2	-226.298	5.110559	-221.187	-222.6	1.4	-221.2
600	-155.7	-43.0	-198.7	-155.7	-43.0	-198.7	-153.4	-45.3	-198.7	-150.9	-47.8	-198.7	-148.424	-50.2431	-198.667	-146.0	-52.7	-198.7
620	-44.7	-92.2	-137.0	-44.7	-92.2	-137.0	-44.1	-92.9	-137.0	-43.4	-93.6	-137.0	-42.6693	-94.3001	-136.969	-42.0	-95.0	-137.0
640	51.8	-81.8	-29.9	51.8	-81.8	-29.9	51.1	-81.0	-29.9	50.3	-80.2	-29.9	49.43701	-79.3605	-29.9235	48.6	-78.5	-29.9
660	152.7	-42.9	109.8	152.7	-42.9	109.8	150.4	-40.6	109.8	148.0	-38.2	109.8	145.5837	-35.7615	109.8223	143.2	-33.4	109.8
680	235.1	16.3	251.4	235.1	16.3	251.4	231.6	19.8	251.4	227.9	23.5	251.4	224.1885	27.23042	251.4189	220.5	30.9	251.4
700	289.2	68.6	357.8	289.2	68.6	357.8	284.9	72.9	357.8	280.3	77.5	357.8	275.78	82.06782	357.8478	271.3	86.6	357.8
720	308.5	89.0	397.5	308.5	89.0	397.5	303.9	93.6	397.5	299.0	98.5	397.5	294.1417	103.3353	397.477	289.3	108.2	397.5

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa kecenderungan perubahan gaya inersia motor akibat pembesaran volume kompresi karena keausan silinder liner pada batas yang diijinkan $ba+1.0$ mm, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Tekanan maksimum dalam silinder relatip menurun dari $129,00 \text{ kg/cm}^2$ sampai $125,43 \text{ kg/cm}^2$ atau $0,27\%$.
2. Terjadi penurunan daya motor (N_e) sebesar $0,22 \text{ Hp}$ atau 0.12% , dan putaran motor (n) menurun sebesar $101,03 \text{ rpm}$ atau $0,315\%$.
3. Gaya yang bekerja pada poros untuk tiap langkah usaha relatip menurun pada 360° dan 375° putaran engkol sebesar 0.007% .
4. Dinamika engkol pada posisi 375° putaran engkol, gaya tangensial menurun sebesar $1,26 \text{ kg}$ (0.99%), sedangkan torsi mesin menurun sebesar $0,04 \text{ kg.m}$ atau $0,99\%$.
5. Untuk tiap besaran keausan, gaya inersia orde 1 (f_1) yang terkait dengan frekuensi putaran poros secara keseluruhan menurun rata-rata sebesar 0.937% , sebaliknya gaya inersia orde 2 (f_2) mengalami kenaikan tidak merata pada tiap frekuensi 20° putaran engkol, sedangkan gaya inersia (F) yang diperoleh dari penjumlahan gaya inersia (f_1 dan f_2) tidak mengalami perubahan.

5.2. Saran

1. Demi mengantisipasi hambatan dalam pengoperasian motor karena keausan silinder liner, maka sangat penting perhatian dan pengawasan terhadap

pelumasan dan pendinginan motor secara rutin sesuai yang dipersyaratkan oleh pabrik pembuat.

2. Demi menjaga stabilitas pengoperasian motor, maka sangatlah perlu diperhatikan batas toleransi keausan yang diijinkan, dengan demikian dapat mempertahankan umur pakai motor.

DAFTAR PUSTAKA

Badiru, Omitaomu, (2011), *Handbook Of Industrial Engineering Equations, Formulas, And Calculations*, Department of Systems and Engineering Management Air Force Institute of Technology (AFIT), Dayton, Ohio, CRC Press.

Heinz Grohe, (1985), *Benzine En Diesel Motoren, Werking, Constructie en Berekening van Tweeslag en Vierslagverbrandingsmotoren*, Kluwer Technishe Boeken B.V. Antwerpen.

H. F. Quintero, C. A. Romero, (2007), “*Thermodynamic and dynamic analysis of an internal combustion engine with a noncircular-gear based modified crank-slider mechanism*”, *12th IFToMM World Congress, Besançon (France)*, June18-21, 2007

Imed Khemili, Lotfi Romdhane, 2008, “*Dynamic analysis of a flexible slider–crank mechanism with clearance*”, *European Journal of Mechanics A/Solids* (2008) 882–898.

Klaus Mollenhauer, Helmut Tschoke, (2010), *Hand Book of Diesel Engine*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

N. Petrovsky (1960), *Marine Internal Combustion Engine*, Mir Publisher, Moscow.

Richard Van Basshuysen and Fred Scafer, (2004), “*Internal Combustion Engine Handbook, Basic, Component, System and Perspectives*”, SEA International

Science And Engineering Encyclopedia, “*Engine Excitation Mechanism*”, © Dirac Delta Consultants Ltd
<http://www.diracdeltaco.uk/science/source/e/n/engine%20excitation%20mechanisms/source.html>

Selc, Erkaya, (2006), “*Dynamic analysis of a slider–crank mechanism with eccentric connector and planetary gears*”, *Mechanism and Machine Theory* 42 (2007) 393–408.

Yanmar (2001), “*Operation Manual YSM8*”, *Marine Diesel Engine*, Yanmar Co Limited Head Office, Osaka 530-8311, Japan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap Barnabas Wattimury, lahir 22 Maret 1957 di desa Titawaai Maluku Tengah, anak kelima dari sembilan bersaudara pasangan Costantinus Wattimury (alm) dan Yacomina Ayal (almh). Pendidikan formal yang ditempuh, SD Negeri Titawaai (1963-1969), SMP Negeri Titawaai (1970-1972), SMA Negeri Saparua jurusan IPA (1973-1975).

Melanjutkan program pendidikan sarjana jurusan Teknik Sistem Perkapalan di Fakultas Teknik Unpatti Ambon (1977-1983), lulus tingkat Sarjana Muda dengan gelar (B.Sc), dilanjutkan ke program sarjana strata 1 (1983-1985) lulus dengan gelar Insinyur (IR). Pendidikan terakhir adalah mengikuti program Magister pada Fakultas Teknologi Kelautan bidang keahlian Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2011-2015), dengan gelar Magister Teknik (MT). Penulis mulai bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil Pusat tahun 1983 dengan status tenaga teknis pada Laboratorium Teknologi Produksi Fakultas Teknik Unpatti Ambon, dan diangkat sebagai tenaga pengajar di Fakultas Teknik Unpatti Ambon sejak tahun 1988 hingga sekarang dengan pangkat terakhir Lektor.

Mata kuliah yang pernah dibina antara lain :

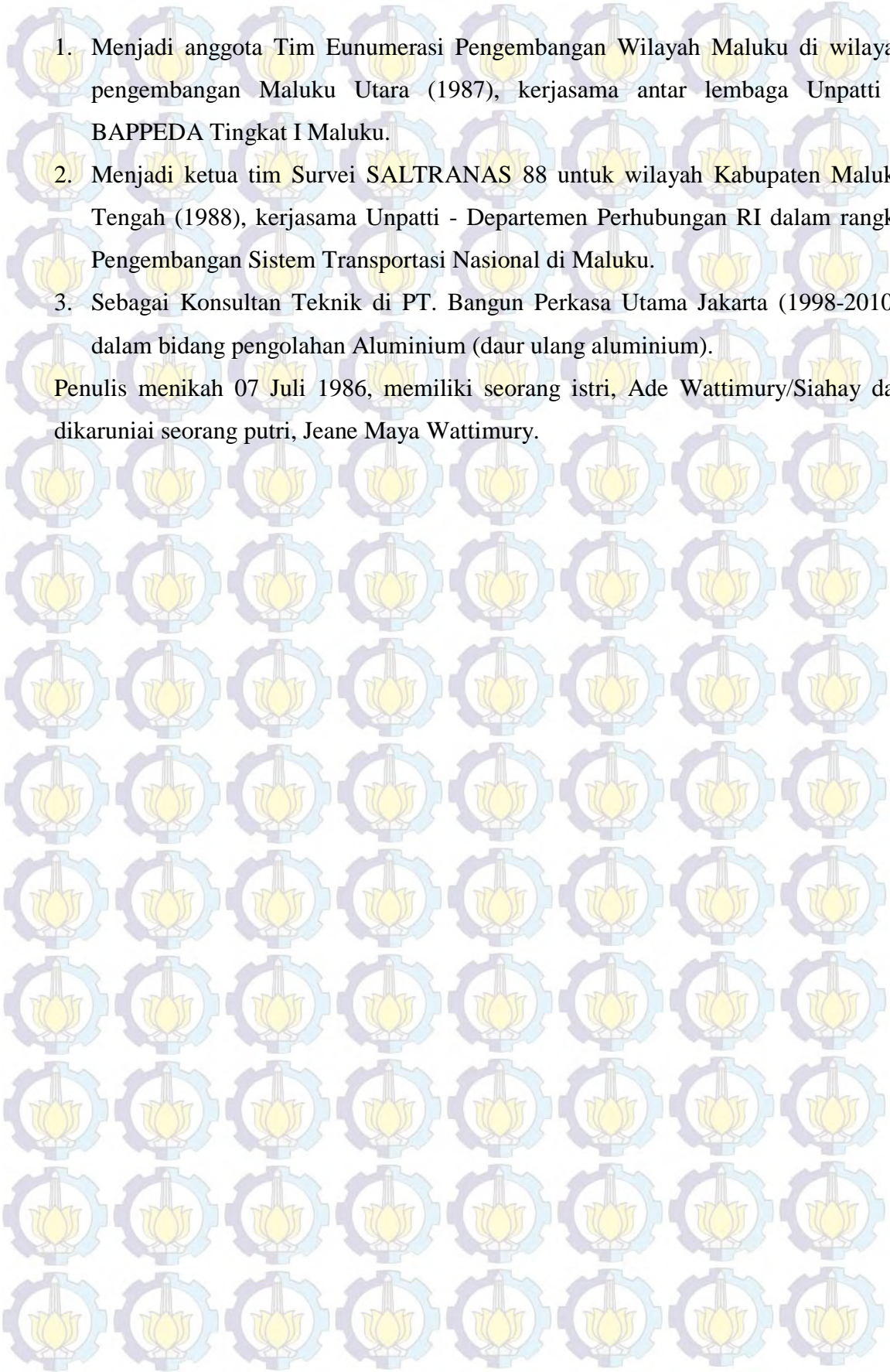
1. Menggambar Teknik Mesin (1988 - sekarang).
2. Marine Power Plant (1989 - 1997).
3. Proses Produksi (1992 - 2008).
4. Perancangan Mesin (1996 - sekarang),

Jabatan struktural yang pernah di tangani adalah :

1. Sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan (1990 - 1992).
2. Kepala Laboratorium Teknologi Produksi (1996 - 2008).

Selain tugas pokok mengajar, penulis juga mengikuti berbagai kegiatan seminar, penelitian, pengabdian pada masyarakat serta kegiatan akademik lainnya, baik di dalam maupun diluar fakultas dan universitas.

Pengalaman lain diluar kegiatan akademik yang pernah dijalani antara lain :

- 
1. Menjadi anggota Tim Eunumerasi Pengembangan Wilayah Maluku di wilayah pengembangan Maluku Utara (1987), kerjasama antar lembaga Unpatti - BAPPEDA Tingkat I Maluku.
 2. Menjadi ketua tim Survei SALTRANAS 88 untuk wilayah Kabupaten Maluku Tengah (1988), kerjasama Unpatti - Departemen Perhubungan RI dalam rangka Pengembangan Sistem Transportasi Nasional di Maluku.
 3. Sebagai Konsultan Teknik di PT. Bangun Perkasa Utama Jakarta (1998-2010), dalam bidang pengolahan Aluminium (daur ulang aluminium).

Penulis menikah 07 Juli 1986, memiliki seorang istri, Ade Wattimury/Siahay dan dikaruniai seorang putri, Jeane Maya Wattimury.